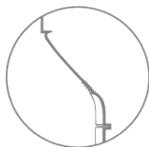




FACULDADE DE ARQUITECTURA DA UNIVERSIDADE DO PORTO  
5º Ano – Mestrado Integrado em Arquitectura

# **DO DESENHO À CONCEPÇÃO ARQUITECTÓNICA – RECURSOS DIGITAIS**

Porto, 2009



FACULDADE DE ARQUITECTURA DA UNIVERSIDADE DO PORTO  
5º Ano – Mestrado Integrado em Arquitectura

# DO DESENHO À CONCEPÇÃO ARQUITECTÓNICA – RECURSOS DIGITAIS

**Orientador da Dissertação:**

Prof. Dr. Arquitecto Pedro Leão Ramos Ferreira Neto

**Autor da Dissertação:**

José Vasco Peixoto Pereira Pinto da Silva

Nº 050201120

Porto, 2009

*In Curved Space, the shortest distance between two points is a curved line.*

Albert Einstein

PERELLA, S. (1998)

No presente trabalho, foram investigadas as novas potencialidades recorrentes da aplicação tecnológica digital na Arquitectura, recorrendo à análise dos métodos nos quais os recursos digitais são geradores de forma.

Alavancada pelo aparecimento de várias técnicas baseadas na criação digital, a Arquitectura vê-se, nos dias de hoje, a explorar as possibilidades para “a busca da forma”. Este trabalho indaga o processo de geração digital, baseado em conceitos como: Modificadores, Superfícies, Animação e Análise.

As várias possibilidades de materialização arquitectónica fazem equitativamente parte do documento como forma de viabilização física dos recursos digitais.

A teoria descrita é no final corroborada por um exemplo prático de modelação e prototipagem, reproduzindo um modelo físico à escala, utilizando um único suporte: o digital.

In this project, new potentials were investigated arising from the application of digital technology in architecture, resorting to the analyses of methods in which the digital resources are form generators.

Impelled by the emergence of various techniques based on digital creation, Architecture today finds itself exploring the possibilities of “form finding”. This project analyses the process of digital generation, based on concepts such as: Modifiers, Surfaces, Animation, Analysis.

The various possibilities of architectural materialization play an equally important role within this document, as a form of physical viability of digital resources.

To conclude, this theory is then corroborated with a practical modeling example and prototype, generating a full scale model using only digital means.

## ABREVIATURAS

ADN – Ácido Desoxirribonucleico

CAD – computer aided design

CAGD – computer assisted geometric design

CAM – computer aided manufacturing

CATIA – computer aided three-dimensional interactive application

CFD – computational fluid dynamic

CMM – coordinate measuring machine

CNC – Computer Numerically Controlled

FEM – método de elemento finito

N.U.R.B.S. – non-uniform rational b splines

**ÍNDICE GERAL**

	Folha
ÍNDICE DE IMAGENS.....	9
ÍNDICE DE ESQUEMAS .....	11
INTRODUÇÃO.....	12
PARTE 1 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO .....	16
1- DESENHO DIGITAL .....	17
1.1- Modificadores.....	20
1.1.1 – Modificadores Paramétricos.....	22
1.1.2- Modificadores topológicos .....	26
1.1.3 – Campos de forças .....	28
1.2– Superfícies .....	35
1.2.1 – N.U.R.B.S. ....	38
1.2.2– Primitivas .....	42
1.3 - Animação.....	46
1.3.1 - O contexto digital.....	49
1.3.2 - Formas equivalentes.....	50
1.4 – Análise .....	52
1.5 – A criatividade no universo digital. ....	57
2 – FABRICAÇÃO ASSISTIDA DIGITALMENTE .....	60
2.1 – CMM .....	63
2.2 – Métodos de fabrico.....	64
2.2.1 – Corte por CNC.....	65
2.2.2 – Moagem por CNC .....	67
2.2.3 – LOM .....	68
2.2.4 – Fabrico por deformação .....	70
2.3 – Materialização de superfícies.....	71
2.3.1 – Estratégias de produção .....	75
2.3.2 – Nova materialidade.....	83
2.3.3 – Montagem de componentes .....	89
2.4 – Redefinições de produção.....	90
PARTE II – APLICAÇÃO PRÁTICA .....	93
3- GERAÇÃO DO MODELO DIGITAL.....	94
3.1 – Modelação Digital .....	94
3.2 - Planificação do Modelo curvo.....	97
3.3 - Montagem do modelo planificado .....	98
3.4 - Adição de pormenor/complexidade ao modelo digital .....	99
3.5 - Planificação do modelo curvo .....	100
3.6 - Montagem dos componentes .....	101

3.7 - Protótipo final .....	102
4. CONCLUSÃO .....	105
5. BIBLIOGRAFIA .....	114
ANEXOS.....	117
ANEXO I - PROCESSO DE GERAÇÃO DO MODELO E PROTOTIPAGEM ...	118

## ÍNDICE DE IMAGENS

	Folha
Imagem 1- Parametrização de uma primitiva.....	23
Imagem 2- Render de Marcos Novak .....	24
Imagem 3- Terminal internacional de Waterloo.....	25
Imagem 4- Aplicação do comando Bend .....	26
Imagem 5- Klain Bottle.....	27
Imagem 6- Mobius Strip .....	27
Imagem 7- Mobius House .....	28
Imagem 8- Aplicação do comando Bomb.....	29
Imagem 9- Authority Bus Terminal York.....	31
Imagem 10- Prototype in Long Island .....	32
Imagem 11- Wozoco’s Apartments .....	33
Imagem 12- CATIA.....	35
Imagem 13- Mobius House .....	36
Imagem 14- Abudabi Performing Arts Center .....	37
Imagem 15- Linha NURBS .....	38
Imagem 16- Curva NURBS .....	39
Imagem 17- Controlo de pontos .....	39
Imagem 18- Splines .....	40
Imagem 19- Superfícies NURBS .....	41
Imagem 20- U V Mapping .....	42
Imagem 21- Forma primitiva com aplicação do modificador Twist .....	44
Imagem 22- Sede da Vodafone .....	45
Imagem 23- Aplicação de Key Frames.....	46
Imagem 24- Guernica .....	47
Imagem 25- Housings Project .....	50
Imagem 26- Render do karl Chu .....	51
Imagem 27- Aplicação de funções de análise .....	53
Imagem 28- Projecto ZED .....	53
Imagem 29- Analise solar, City Hall .....	55
Imagem 30- Kunsthouse.....	56
Imagem 31- CNC “Shark” .....	60
Imagem 32- Fish Sculpture .....	61
Imagem 33- Scanner 3D.....	63
Imagem 34- Maquina de corte 2D.....	66
Imagem 35- Fabrico por subtracção .....	67
Imagem 36- Fabrico por adição.....	69
Imagem 37- Fresh H2O.....	73
Imagem 38- George Restaurant.....	74
Imagem 39- Aplicação do comando Section .....	76
Imagem 40- Imagem estrutural do estádio Olímpico da China.....	76
Imagem 41- Study of a Cube.....	77
Imagem 42- Helius House.....	77
Imagem 43- Aplicação do comando FoldFace.....	78
Imagem 44- Terminal Internacional de Yokohama.....	78
Imagem 45- Aplicação do comando Contour.....	79
Imagem 46- Bond Wall.....	79

Imagem 47- Walt Disney Concert Hall.....	80
Imagem 48- Opera House .....	81
Imagem 49- DG Bank .....	82
Imagem 50- Torres Zollhof .....	83
Imagem 51- Crawold Municipal Art Galery .....	84
Imagem 52- Nanotubos de carbono .....	86
Imagem 53- Aegis Hypersurface .....	88

## ÍNDICE DE ESQUEMAS

	Folha
Esquema 1 – Interface.....	19
Esquema 2 – Ferramentas de Interface .....	20

## INTRODUÇÃO

A investigação é, fundamentalmente, um processo através do qual se gera conhecimento e o sector do conhecimento constitui, em larga medida, o resultado de diferentes acções de investigação promovidas em todo o mundo. Assim, a investigação constitui-se como uma actividade orientada no sentido da solução de problemas, numa tentativa de averiguar, indagar, procurar respostas, que podem ser encontradas ou não, cuja finalidade básica é a de gerar conhecimento. Este vai permitir ao indivíduo dominar melhor a sua vida e o seu meio, ajudando-o a alcançar os objectivos a que ele se propõe como ser humano.

Tal como acontece com a Arquitectura, nenhuma profissão terá um desenvolvimento contínuo sem o contributo da investigação, uma vez que é esta que permite aumentar os conhecimentos desta disciplina e facilita o seu desenvolvimento enquanto ciência, assegurando a sua credibilidade.

Neste sentido, torna-se imperativo sensibilizar todos os estudantes e profissionais para a importância da actividade de investigação, bem como criar condições e incentivos para que esta actividade possa ser desenvolvida.

Com a finalidade de aperfeiçoar competências de investigação, assim como alargar conhecimentos na área em estudo, a elaboração da presente dissertação no âmbito do Mestrado integrado, do último ano do curso de Arquitectura da Universidade do Porto, foi desenvolvida sob a orientação do Professor Arquitecto Pedro Leão Ramos Ferreira, subordinada ao título: “Do desenho à concepção arquitectónica – recurso a meios digitais”, que apresenta como contexto geral o universo das tecnologias de modelação e fabricação assistidas digitalmente.

Os computadores estão a alterar a prática e, simultaneamente, a forma como a Arquitectura é materializada. As tecnologias de modelação permitem não só criar espaços e formas que outrora eram impossíveis de serem geradas, como também,

permitem a associação dos recursos digitais a dispositivos de fabricação mecânicos, desencadeando simultaneamente, uma revolução ao nível da construção. Os computadores estão, assim, a alterar a forma como compreendemos o pensamento arquitectónico.

Neste contexto, o intuito geral da dissertação é contribuir para uma melhor compreensão da influência que os computadores têm vindo a ter no universo da Arquitectura. Para tal, o documento dividir-se-á numa reflexão teórica em volta das temáticas já referidas, assim como num estudo prático centrado na modelação digital de uma geometria complexa, seguindo-se a sua materialização num modelo à escala. Esta modelação possibilita uma avaliação crítica do desempenho criativo inerente da utilização dos recursos digitais, assim como, a sua viabilidade construtiva.

Com a elaboração deste trabalho é pretendido atingir diversos objectivos que importam definir, uma vez que na sua globalidade permitem dissecar a complexidade do processo criativo e construtivo assistido por meios digitais, sendo eles:

- Perceber em que medida as tecnologias digitais representam uma potencialidade inigualável no projecto de geometrias complexas;
- Dissecar conceitos base imprescindíveis para estabelecer uma ligação entre o usuário e o software de modelação;
- Descrição de modificadores topológicos, paramétricos, animação e análise, como ferramentas operativas base de interface;
- Abordagem de ambientes e softwares específicos capazes de produzir alterações formais, em função de uma variável específica;
- Consciencialização das novas possibilidades ao nível da criatividade;

Para além dos objectivos gerais definidos anteriormente respectivos à modelação digital, numa segunda fase do trabalho é pretendido:

- Abordar a nova relação entre o processo criativo e a concepção arquitectónica – passagem a um único suporte.
- Abordagem de tecnologias de digitalização tridimensional;

- Descrição dos vários tipos de fabricação assistida por meios digitais;
- Abordagem de técnicas de montagem de componentes e estratégias de produção;
- Reflexão do impacto das potencialidades dos novos materiais compósitos e da sua provável evolução no contexto arquitectónico;
- Compreender o abandono da standardização na produção em massa de componentes como resultado de uma evolução da era digital.

O presente documento encontra-se dividido em duas grandes partes fundamentais. A primeira parte, refere-se ao enquadramento teórico relativo à temática desenho e fabrico digital. O capítulo desenho digital, por sua vez, dividido em vários subcapítulos, que abordam temas como as ferramentas operativas do desenho digital, ou mesmo as várias possibilidades gerativas de forma, culminando numa reflexão geral respectiva ao papel das novas tecnologias como factor de ruptura com o passado. Surge a seguir o capítulo fabricação digital, também este dividido em vários subcapítulos, que aborda questões relativas aos métodos de fabrico, assim como à construção/materialização de superfícies modeladas digitalmente. Este último termina, igualmente com uma reflexão relativa às novas vantagens da produção em massa, no sentido de demonstrar que o sucesso da passada standardização está actualmente desactualizado, pela possibilidade de gerar digitalmente objectos únicos e em massa.

Na segunda parte é apresentada a aplicação prática da dissertação em causa, que se encontra, igualmente, dividida em dois subcapítulos, dos quais fazem parte a modelação criativa de um modelo digitalmente assistido, seguindo-se noutro subcapítulo, a sua materialização num modelo à escala.

O capítulo da conclusão está estruturado em três momentos, a primeira parte sintetiza todos os capítulos do documento, dando ênfase às ideias e conclusões mais marcantes. A segunda parte faz uma reflexão crítica do caso de estudo, enquadrando-o enquanto ferramenta de trabalho na prática da arquitectura. A terceira parte, de carácter mais pessoal, procura enquadrar todas as problemáticas abordadas neste documento com o contexto sociocultural.

Após a consulta de vária bibliografia, constatei que o autor Branko Kolarevic, é actualmente o autor, que consegue abordar as várias temáticas referentes ao tema do desenho digital e fabricação assistida de um modo científico, sintético e equilibrado nas várias vertentes de abordagem, utilizando para tal uma constante referência e reflexão a diversas obras e Arquitectos. Diferenciando-o da restante bibliografia pela sua multidisciplinaridade. Deste modo, este autor foi preferencialmente utilizado ao longo da dissertação. A restante bibliografia, apresenta na generalidade um carácter mais específico relativo às diversas áreas de abordagem, verificando-se de um modo geral a especificação literária dos autores a uma respectiva área de desenvolvimento.

Ao longo da dissertação, a metodologia aplicada é essencialmente descritiva, reflexiva e crítica, baseando-se numa análise qualitativa de diversos textos teóricos sobre as tecnologias de representação, modelação e comunicação em Arquitectura e o estudo de diversos relatórios sobre a experiência de casos práticos, com o objectivo de fazer uma síntese sobre o estado da Arquitectura e das aplicações aí existentes, e assim mostrar os seus principais problemas e potencialidades.

## **PARTE 1 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO**

## 1- DESENHO DIGITAL

Actualmente os instrumentos digitais constituem um recurso imprescindível em várias áreas de produção. Algumas indústrias, tal como a aeronáutica, com necessidades aerodinâmicas muito específicas, desenvolveram sistemas de modelação e fabrico assistido digitalmente. Estas ferramentas permitiram, por um lado, desenvolver e otimizar a forma dos aviões produzidos, e por outro lado, permitiu também, que na fase de construção, a complexidade não compromettesse o rigor.

No caso da Arquitectura, as potencialidades digitais trouxeram um acréscimo de novas possibilidades e vertentes de investigação, sendo cada vez mais difícil prever aquilo que será o futuro da Arquitectura. Na arquitectura, à semelhança do que aconteceu na indústria aeronáutica, com o desenvolvimento de ferramentas de desenho digital, direccionados especificamente para a produção arquitectónica, surgiu a necessidade de desenvolver meios de fabricação assistida digitalmente. Neste contexto, surgem duas correntes de desenvolvimento tecnológico, a corrente do desenho digital apoiado em novas geometrias e a corrente de desenvolvimento de maquinaria que se propõe a dar resposta à fabricação das novas geometrias.

As tecnologias de CAD/CAM (desenhos assistido a computador/ fabrico assistido a computador), deixam assim de estar associadas a áreas específicas, como é o caso da metalúrgica. O potencial destes recursos automatizados constitui a chave para o desenvolvimento e viabilização construtiva de novas soluções e expressões arquitectónicas.

Segundo David Salomon (2006:6), os primeiros sistemas de desenho digital, tinham como principal objectivo alcançar um maior rigor de desenho. Com o desenvolvimento dos sistemas de desenho digital, surgiu a possibilidade de adicionar o vector Z ao referencial do plano XY. Este acontecimento marcou a transição do desenho digital 2D para o 3D. Com o terceiro vector, já não se tratava apenas de desenhar uma forma em três dimensões, mas sim de a construir tridimensionalmente. Assim, são atribuídas coordenadas a todos os vértices, sendo estes vértices ligados por arestas, em que os pontos que a constituem não são introduzidos, mas sim

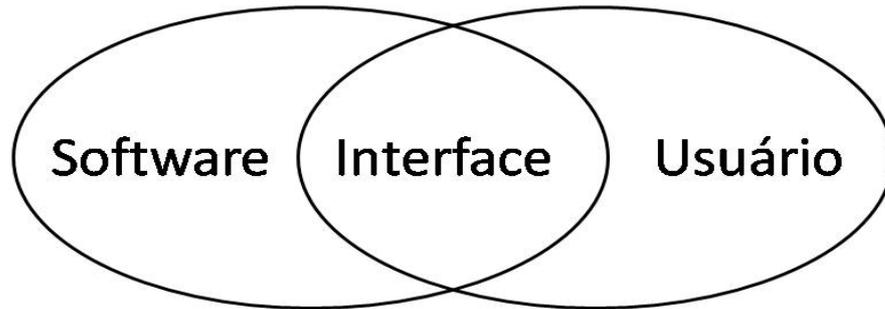
calculados pelo software. Esta conquista tecnológica permitiu demonstrar a grande vantagem do desenho digital, não se tratando apenas de um aumento de rigor, mas também um avanço significativo no controlo tridimensional de geometrias.

A sofisticação dos softwares de modelação evoluiu sempre no sentido do desenvolvimento de ferramentas que permitissem gerar geometrias cada vez mais complexas, e dispositivos capazes de alterar qualquer geometria em função de diferentes variáveis de modificação.

O usuário mais experiente é capaz de modelar uma qualquer geometria que tenha em mente, mas mais importante que isso, é também capaz de chegar a um leque infinito de geometrias nunca por ele imaginadas, e capazes de constituírem uma reposta viável.

As vantagens trazidas pelos recursos digitais não se esgotam na facilidade da criação de geometrias complexas e na possibilidade de as construir. A possibilidade de ocorrerem erros de representação na passagem da fase de projecto para a fase de construção quase se anula. A informação de concepção integra a informação de construção, permitindo assim que o projecto se apoie num único suporte, o suporte digital.

Ao longo da história, o Homem desenvolveu artefactos cada vez mais sofisticados, tendo como principal objectivo a extensão das suas próprias capacidades. O automóvel, por exemplo, surgiu pela necessidade do Homem em se deslocar mais rapidamente, ou seja, uma extensão das pernas. As peças fundamentais do automóvel são as rodas e o motor, no entanto, estes dois elementos não são os que ocupam o maior volume do automóvel. Existe sempre algo entre o Homem e a Máquina, um elo de ligação, uma “roda dentada” entre duas engrenagens diferentes. Não serviria de nada ter um motor e quatro rodas, se não existisse também um dispositivo que permite que o motor se adapte ao corpo.

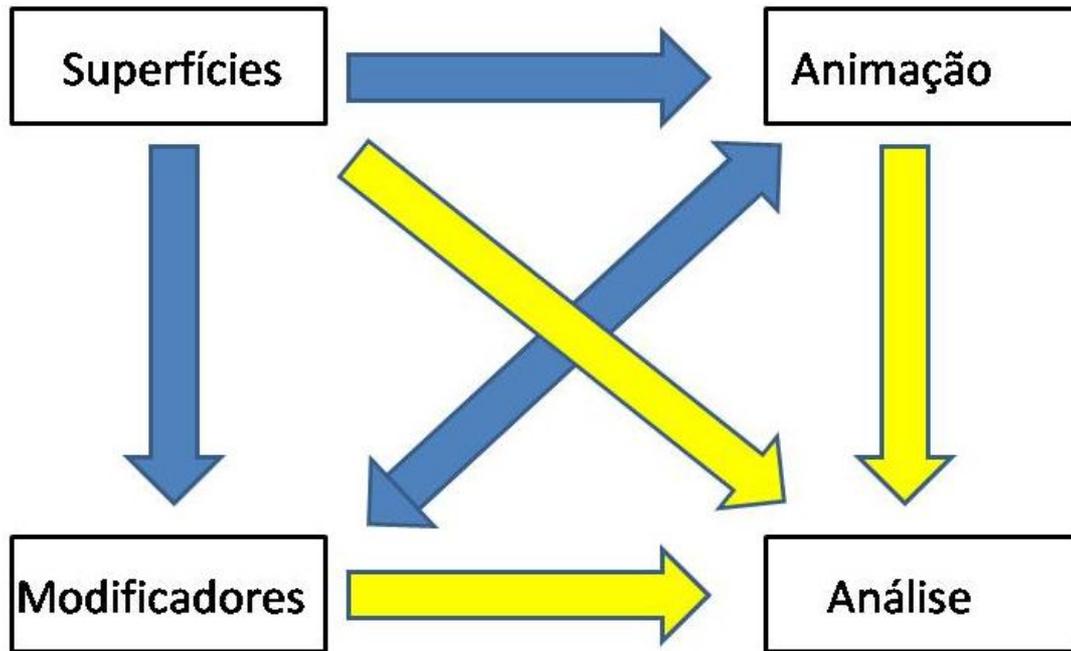


Esquema 1 – Interface

Os recursos Digitais não são uma excepção à regra, a construção geométrica baseia-se num universo de coordenadas de tal modo complexas, que não podem ser operadas directamente pelo usuário. Existe um código interno do software que está ligado a um interface, um ambiente de trabalho com botões operativos passíveis de serem utilizados pelo usuário, mesmo que este tenha pouca experiência (Esquema 1). O software torna-se assim acessível ao usuário, sem que este tenha que possuir conhecimentos avançados de programação informática ou geometria analítica.

O ambiente do UI (user interface) (Barata, 2007:8) apresenta diferentes configurações, em todos os softwares disponíveis. Um dos desafios das empresas que se dedicam ao desenvolvimento destes softwares é a criação de um UI o mais intuitivo possível. Com a crescente complexidade das ferramentas digitais, nem sempre é praticável aliar a intuitividade à complexidade e versatilidade das ferramentas de modelação.

O presente documento simplifica a modelação digital em quatro elementos fundamentais: modificadores, superfícies, animação e análise. Estes quatro temas, por sua vez, são desdobrados em subtemas de ferramentas inerentes a cada um deles (Esquema 2).



Esquema 2 – Ferramentas de Interface

A estratégia de abordagem seguida, baseia-se numa hierarquia de conteúdos resultante da experiência pessoal de modelação tridimensional, podendo ser bastante discutível quando comparada a outras experiências. Neste sentido, torna-se bastante claro que o universo digital, feito de inter-relações entre uma infinidade de ferramentas, poderá ter a mesma infinidade de interpretações. Esta complexidade leva à presente necessidade de organizar conteúdos, com o objectivo de melhor explorar as várias vertentes que nos conduzem às novas abordagens arquitectónicas emergentes.

### 1.1- Modificadores

À semelhança do que afirma Alberto Campo Baeza (2004:67), numa das reflexões proferidas ao longo do livro *a ideia construída*, projectar é “ (...) encontrar a forma justa (...) ”, Alberto Baeza não se refere ao panorama digital, mas sim ao

acto de projectar, e mais concretamente, às dificuldades que o Arquitecto sente na procura de uma forma que seja o mais “justa” possível. É interessante salientar esta ideia de “encontrar a forma justa”, ideia esta que saiu de um contexto reflexivo, sem qualquer compromisso com as tecnologias digitais, provavelmente até visto num contexto de concepção tradicional, e colocá-la no contexto da modelação digital. Esta poderá ser a melhor definição para a modelação assistida digitalmente, projectar com recurso à modelação digital é *encontrar a forma justa*, uma vez que a busca da forma pretendida é feita num universo de possibilidades formais geradas pelas ferramentas de modelação.

A geração de modelos digitais acrescenta a possibilidade de transformação, uma forma pode ser modificada de um modo infinito, tal como se tratasse de uma peça de barro. O usuário dispõe de vários tipos e famílias de modificadores, podendo cada um deles ser parametrizado numericamente, permitindo desta forma, um controlo rigoroso de todas as modificações efectuadas.

Dentro de cada modificador existem várias variáveis, diversas combinações possíveis, que derivam sempre em resultados formais distintos. Por sua vez, os vários tipos de modificadores podem ser combinados tantas vezes quanto necessário.

A qualquer momento, o efeito dos modificadores pode ser anulado, ou então o processo pode ser simplesmente retrocedido. Esta característica torna obsoleta a rigidez dos recursos convencionais, em que o Arquitecto recomeçará todo o trabalho caso queira realizar uma alteração profunda. Acrescenta-se ainda outra grande vantagem, a de que a complexidade das geometrias utilizadas já não depende da capacidade de desenho do usuário, uma vez que uma forma complexa é gerada com a mesma facilidade que uma forma mais simples.

As tradicionais plantas, cortes e alçados, passam a constituir parte integrante da lista de modificadores, mas desta vez, como elementos meramente analíticos. Os elementos tradicionais de projecto passam a ser meras secções do modelo tridimensional, que permitem uma visualização simplificada do interior.

Os modificadores podem ser divididos em três grandes grupos: *paramétricos*, *topológicos* e *campos de forças*. Cada um destes modificadores provoca alterações no modelo digital, no entanto, estas alterações têm princípios de influência

diferentes. Os modificadores paramétricos actuam sobre as características geométricas do objecto, enquanto que os modificadores topológicos alteram a estrutura do objecto, criando deformações distintas. Os campos de força, por sua vez, são deformadores espaciais que afectam os objectos contidos num determinado espaço. (Barata, 2007:11)

O universo infinito das possibilidades da modelação digital deve-se fundamentalmente à existência dos modificadores, estas ferramentas permitem ao usuário modelar aquilo que é capaz de imaginar, com a mesma facilidade que modela aquilo que nunca imaginou poder modelar.

### **1.1.1 – Modificadores Paramétricos**

A grande vantagem da exploração paramétrica é a possibilidade de jogar com um número bastante alargado de variáveis de um modo simples e intuitivo. Os recursos tradicionais por vezes obrigavam a que se fixassem premissas iniciais, de outra forma, o desenvolvimento do projecto seria inviável, uma vez que, poderia obrigar à reformulação de todo o projecto, voltando-se assim ao início do mesmo. A parametrização do projecto substitui a estabilidade do projecto tradicional, por processo variável, em que qualquer alteração pode ser efectuada a qualquer momento, sem que isto implique uma reformulação total do projecto. (Kolarevic, 2003:18)

O exemplo concreto da eventual necessidade de aumentar ou diminuir ligeiramente a mancha de implantação de um edifício, pelos recursos tradicionais, implica desenhar de novo as plantas, recalcular a organização interior do edifício, ou seja, voltar ao início. A parametrização, por sua vez, permite a qualquer momento do desenvolvimento do projecto, alterar as medidas do edifício, adaptando-se automaticamente à nova configuração, sem que seja necessário voltar ao início do processo.

Pela articulação de variáveis dimensionais, estes parâmetros permitem partir de um qualquer elemento geométrico e parametrizá-lo, gerando um número ilimitado de objectos semelhantes (Imagem 1).

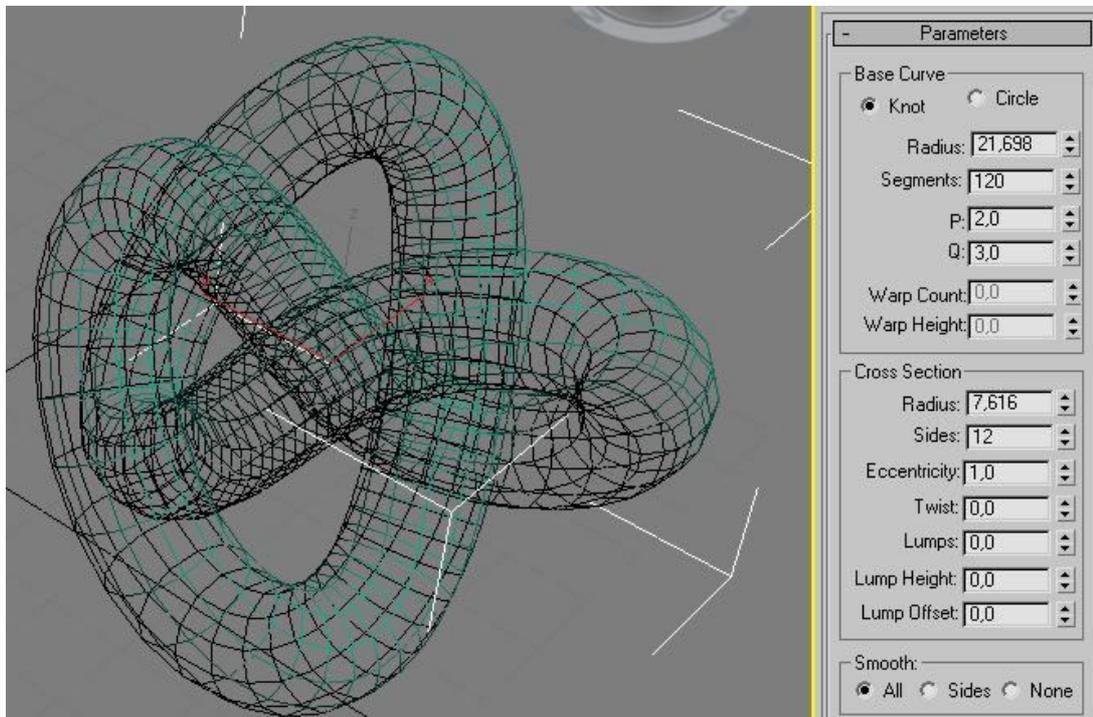


Imagem 1 – Parametrização de uma primitiva

Fonte: Imagem gerada no 3DStudio Max

O quadro paramétrico da imagem contém informação própria da geometria seleccionada, os vários valores presentes no quadro têm influência na sua configuração, sem que a forma seja alterada. Cada valor tem uma influência directa em todos os outros, no fundo, o resultado geométrico é o resultado de uma equação, cujas variáveis estão presentes no painel. Por exemplo, se o campo respectivo ao número de lados for alterado, e se em seguida o parâmetro do raio for também alterado, o resultado formal da última alteração não é igual ao que aconteceria se o número de lados não tivesse sido alterado. Trata-se assim de um sistema associativo, em que cada variável desencadeia consequências em todas as outras. Esta característica faz com que as possibilidades geométricas se multipliquem constantemente à medida que nos afastamos da parametrização base.

O trabalho de Marcos Novak (in Kolarevic, 2003:18) baseia-se fundamentalmente na parametrização, preocupando-se fundamentalmente na relação entre objectos. Novak parametriza vários objectos em simultâneo (Imagem 2), ou seja, um conjunto de objectos diferentes são parametrizados com a mesma configuração, atribuídas as mesmas variáveis, o que faz com que os objectos, apesar de manterem uma geometria diferente, se aproximem e relacionem pelas semelhanças paramétricas.

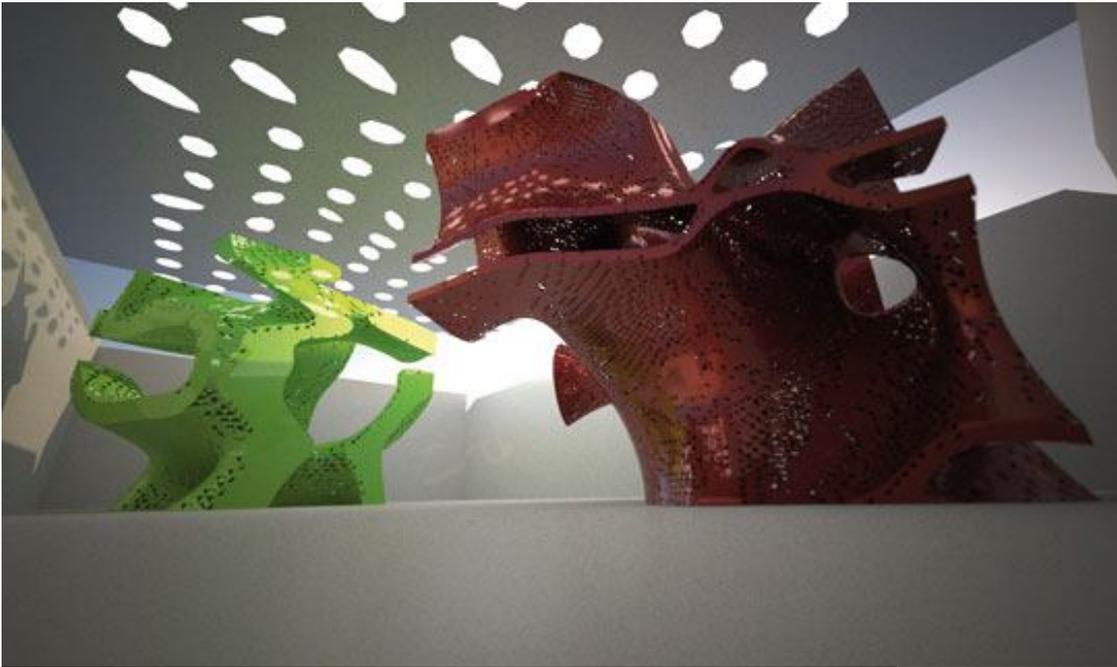


Imagem 2 – Render de Marcos Novak

Fonte: <http://www.images.com/image/351253/>

O arquitecto Nicholas Grimshaw (in kolarevic, 2003:18) aborda a parametrização de um modo oposto ao exemplo de Marcos Novak, no terminal internacional de Waterloo em Londres (1993), Grimshaw opta por pegar em objectos semelhantes, mas com parametrização diferentes. A forma geral do edifício é uma espécie de tubo que se vai aligeirando. O tubo é materializado por várias secções transversais estruturais, que se unem por painéis de vidro (Imagem 3).

Neste contexto específico, segundo o autor supracitado, a parametrização permitiu ao arquitecto conseguir que a forma se diluísse de um modo subtil, estreitando de 50 para 35 metros. Esta passagem foi conseguida por uma sequência

de arcos estruturais, que em vez de serem modelados individualmente, correspondem a um único arco. O arco modelado, segundo Kolarevic (2003:19) corresponde à equação  $h = ((2915^2 + (b+c)^2)^{1/2})$ , em que, segundo o autor, b corresponde à curva menor e c à curva maior. A introdução de diferentes variáveis à expressão geral do arco, permitiu introduzir uma variação contínua ao longo do edifício, usando sempre a mesma geometria.



Imagem 3 – Terminal de Waterloo (1993), Londres, Arquitecto Nicholas Grimshaw

Fonte: <http://www.images.com/image/351253/england-london-waterloo-eurostar-terminal->

No caso do terminal de Waterloo (Imagem 3), a base Paramétrica foi utilizada apenas para os elementos estruturais, no entanto, o mesmo pode ser feito com todos os outros elementos que constituem o edifício. No limite, e como refere Kolarevic (2003:19), o projecto poderá ser um formulário, em que, as alterações são uma simples substituição de variáveis.

O exemplo do terminal de Waterloo leva ao limite a parametrização, à primeira vista parece ser pouco viável, nenhum arquitecto o faria naturalmente, apenas se tivesse a intenção prévia de desenvolver um projecto como um único formulário matemático, dificilmente esta seria a melhor solução para responder ao problema. No caso concreto do Terminal de Waterloo, não se tratando de um projecto constituído por um único formulário, mas sim, por um formulário que

permitiu resolver um determinado problema, constitui um exemplo que demonstra claramente a importância da modelação paramétrica em geometrias complexas.

O arquitecto passa a não estar apenas a projectar a forma específica para o edifício, mas um conjunto de princípios codificados com uma sequência de equações paramétricas específicas, pelo qual o desenho pode ser gerado. A concepção paramétrica conduz à exploração de variações infinitas, deixando assim de lado a estabilidade dos recursos tradicionais.

A parametrização é aplicada consistentemente desde a fase conceptual até a sua materialização, sendo uma constante no desenvolvimento do projecto, independentemente da fase de desenvolvimento em que se encontra.

### 1.1.2- Modificadores topológicos

Segundo J. Barata (2007:167), o termo Topologia refere-se a um conjunto de propriedades geométricas de um determinado objecto. Estas propriedades não são afectadas pelo tamanho da forma, ou seja, um cubo, topologicamente é um sólido geométrico com oito vértices e dezasseis arestas. Ao esticar uma das faces do cubo, a forma passa a aproximar-se da geometria do paralelepípedo, no entanto, apesar de se tratar de uma outra forma geométrica, tanto o cubo como o paralelepípedo têm oito vértices e dezasseis arestas, logo, são topologicamente equivalentes.

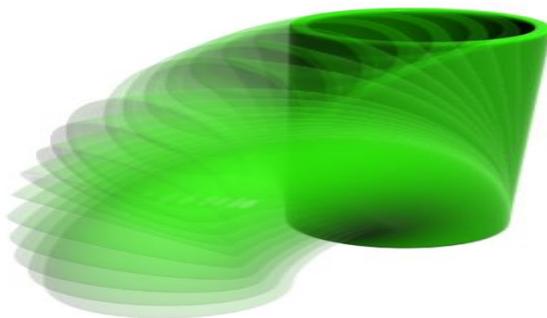


Imagem 4 – Aplicação do comando Bend

Fonte: Imagem gerada no 3DStudio Max

O cilindro da imagem representa a aplicação do modificador topológico “Bend”, esta modificação, fez com que o objecto sofresse várias deformações, no entanto, as características topológicas do objecto não se perderam, mesmo adquirindo outra geometria (Imagem 4).

Os modificadores topológicos, enquanto modificadores, são ferramentas imprescindíveis na modelação tridimensional, permitem que os modelos digitais ganhem uma plasticidade nunca antes conseguida. Os softwares de modelação contêm uma lista considerável de modificadores topológicos, existindo também modificadores que são próprios de softwares específicos, ou seja, desenvolvidos com base nas limitações do próprio software. A aplicação dos modificadores é acompanhada por uma tabela de parametrização, ou seja, tanto o objecto como o modificador podem ser parametrizados.

Os modificadores Topológicos são responsáveis pela aparição de geometrias revolucionárias, como a fita de Mobius ou a Klein bottle (Imagem 5 e 6), estas geometrias desencadearam um estudo exaustivo de um dado até então tido como adquirido na Arquitectura, a fronteira que divide o interior do exterior sempre foi muito clara e inquestionável, com a Klein bottle esta fronteira tornou-se questionável. (Kolarevic, 2003:13)

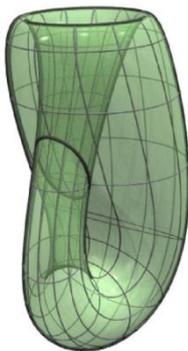


Imagem 5 – Klein bottle

Fonte: <http://www.lancs.lancs.ac>

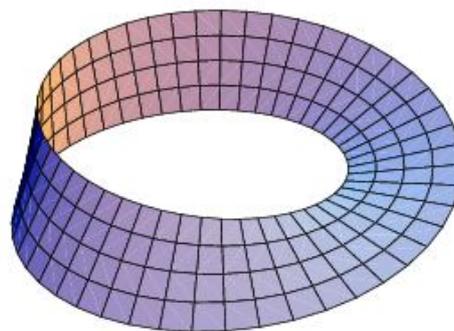


Imagem 6 – Möbius strip

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

Segundo o autor, os arquitectos da UN Studio, Bem Van Berkel e Caroline Bos materializaram tectónicamente a fita de Mobius com a Mobius House (Imagem

7), à semelhança do seu homónimo geométrico, a Mobius House tira partido da ambiguidade entre o interior e o exterior.

Neste projecto, mais que a aplicação de uma geometria complexa, interessa analisar em que medida o projecto ganhou do ponto de vista espacial com a exploração de possibilidades inerentes ao estudo de novas geometrias.

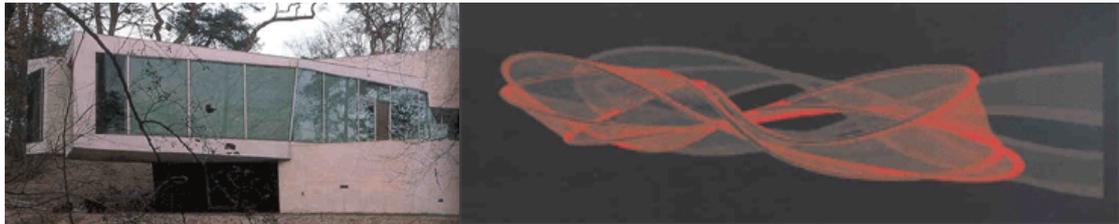


Imagem 7 – Mobius House (1998), Holanda, UN Studio

Fonte: <http://www.floornature.com/articoli/articolo.php>

A exploração de formas recorrendo à aplicação dos modificadores Topológicos traduz-se numa adição significativa de complexidade, como refere Bernard Cache (1998:66), não se trata apenas a um acompanhamento do progresso tecnológico, mas de um reflexo do aumento de complexidade do modo de vida da sociedade. Segundo o mesmo autor, os modificadores topológicos são responsáveis pelo abandono das geometrias Euclidianas e dos sólidos Platónicos em prol das geometrias complexas, na perspectiva do autor, trata-se de uma sociedade que vê a Arquitectura à sua imagem. A dimensão social é abordada por vários autores, incluindo Stephen Perrella (1998), no entanto, contrariamente à procurar da génese de uma ferramenta sofisticada, na evolução social, surge a perspectiva de Branko Kolarevic (2003), em que os modificadores topológicos surgem por um lado, fruto de um desenvolvimento e evolução tecnológica, e por outro lado, como resposta a uma exaltação de exploração formal.

### 1.1.3 – Campos de forças

Segundo J. Barata (2007:199), Os campos de força funcionam de um modo bastante semelhante aos modificadores topológicos, tendo a particularidade de, em vez de actuarem directamente no objecto, possuem um “campo de acção”, ou seja,

dentro de uma determinada área todos os objectos contidos dentro dessa mesma área, estão sujeitos ao modificador.

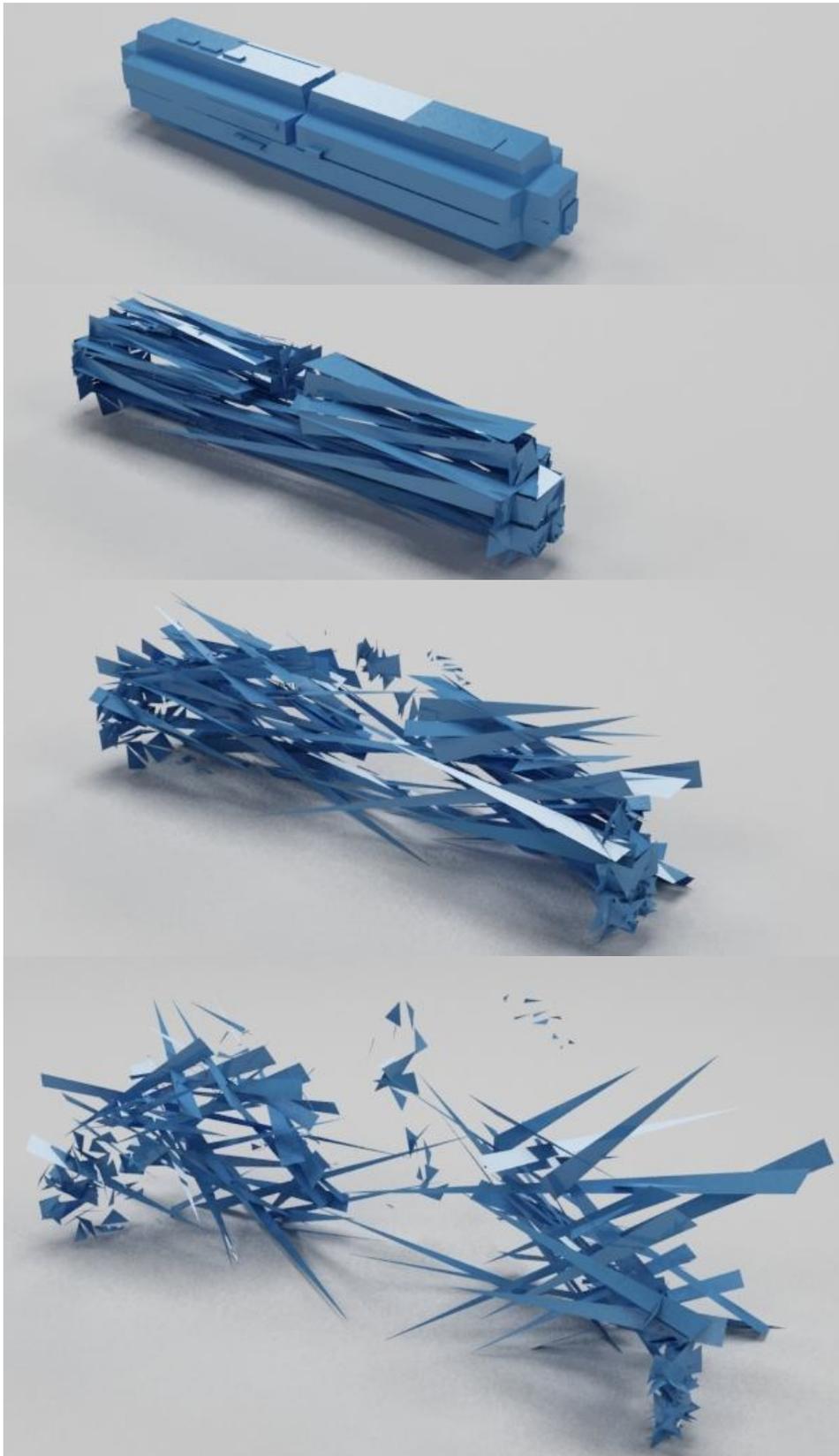


Imagem 8 – Exemplo de aplicação do campo de forças “Bomb”

Fonte: Imagem gerada no 3DStudio Max

A imagem 8 exemplifica a acção do campo de forças “Bomb”, o efeito das forças de explosão é calculado sequencialmente pelo software, podendo o usuário utilizar a sequência toda caso seja esse o objectivo, ou então, usar a imagem mais interessante da sequência.

Na arquitectura, este modificador adquire um elevado estatuto de relevância, uma vez que, adiciona a possibilidade de configurar a envolvente de um determinado objecto. O processo de projecto com meios tradicionais sempre teve uma enorme falha no que diz respeito à fase de implantação, pois o contexto de implantação do edifício a projectar sempre foi visto como algo muito estático. A planta de implantação tendencialmente resolve questões funcionais e compatibiliza volumetrias. Já com os recursos digitais, o contexto pode ser reproduzido digitalmente, não apenas as volumetrias, mas também responder a questões dinâmicas, ambientais e socioeconómicas. No limite, todos os elementos poderão ser traduzidos em forças, constituindo-se assim um formulário capaz de gerar o edifício automaticamente, ou seja, o edifício é gerado pelo próprio contexto em função das condicionantes tomadas como relevantes.

De acordo com Greg Lynn citado por Kolarevic (2003:21), o contexto do desenho digital torna-se um resumo activo do espaço, que se dirige a partir de um conjunto de forças que podem ser armazenadas como informação no formulário. Podemos dizer que a forma poderá ser um resumo dos acontecimentos do local, não apenas relações pontuais com a envolvente, mas também um resumo das forças dinâmicas existentes. A pesquisa de Greg Lynn apoia-se fundamentalmente na tentativa de produzir Arquitectura que resista à passagem do tempo, ou seja, que acompanhe o dinamismo presente nos contextos em que se insere, sem se deixar desactualizar. Uma planta tradicional é o equivalente a uma fotografia, é actual no momento em que é tirada, e desactualiza-se logo a seguir. Projectar um edifício a partir de uma planta é o mesmo que aceitar o facto de que quando a construção estiver concluída o edifício já está desactualizado. Greg Lynn apoia-se na aplicação de forças para reproduzir os efeitos espaciais, adequando assim o edifício proposto a um contexto dinâmico.

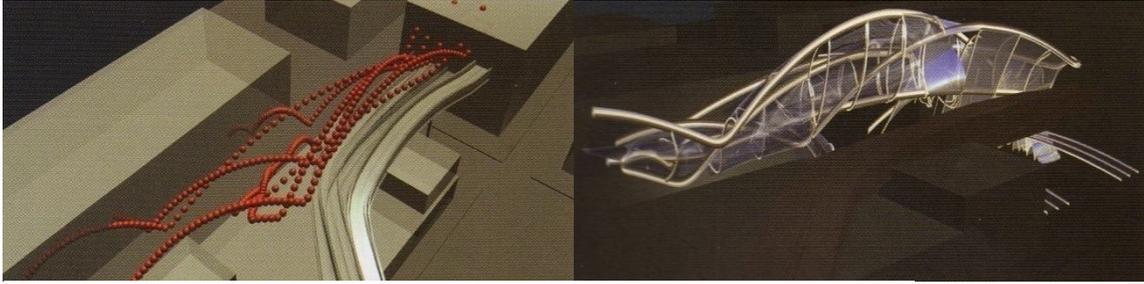


Imagem 9 – Authority Bus Terminal York, Greg Lynn

Fonte: Branko Kolarevic (2003:20)

Na concepção da cobertura para o terminal de autocarros de Nova York, Greg Lynn (Imagem 9) começou por modelar o contexto volumétrico, em seguida inseriu um diagrama de fluxos, separando o tráfego pedonal do trânsito automóvel. O diagrama foi convertido para um sistema de partículas, que permitiu inserir a velocidade e a concentração de cada percurso dinâmico, reproduzindo assim, mais fielmente, o dinamismo da envolvente. Os percursos das partículas foram convertidos em estruturas tubulares, cuja secção varia em função da densidade do respectivo fluxo.

O terminal resulta numa reprodução do que já existe, por um lado, é o resultado de um estudo que foi sensível a todos os acontecimentos presentes na envolvente, por outro lado, o facto de reproduzir os fluxos dinâmicos existentes, acaba por sobrecarregar a envolvente, podendo ser excessivo. A aplicação do campo de forças no desenvolvimento de um projecto está longe de ser um “sucesso garantido”, os recursos digitais de modelação devem ser vistos como um auxílio criativo e nunca como uma forma automática de projectar. No caso concreto de Greg Lynn, estes recursos são levados ao limite, e por esse motivo, estão mais sujeitos a críticas, uma vez que a prática do recurso digital parece ter tanta ou mais importância como o projecto.

Greg Lynn utiliza recorrentemente a *cinemática inversa* como processo gerativo de formas arquitectónicas. Segundo Kelly L. Murdock (2007:971), esta técnica é correntemente aplicada na produção de animações, consiste na criação de um modelo articulado, uma espécie de esqueleto, cujas partes que o constituem estão ligados por relações hierárquicas. O esqueleto é associado a um objecto, assumindo todas as articulações do seu homónimo vertebrado (Imagem 10). Com esta técnica, as

personagens a animar ganham vida pela manipulação do modelo articulado, uma espécie de comando da personagem. Greg Lynn explora também esta técnica nos seus projectos, como acontece com a casa Protótipo em Long Island (Imagem 10).

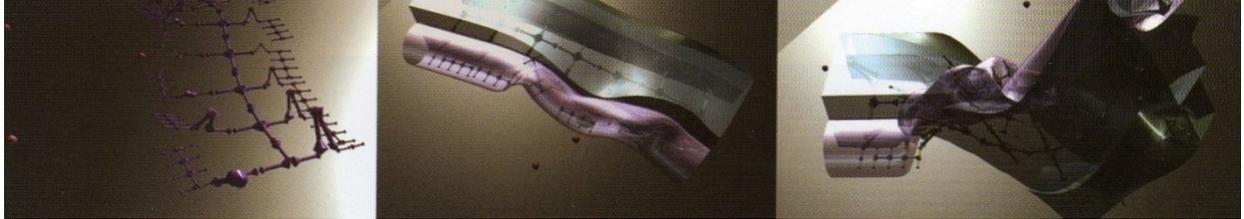


Imagem 10 – Prototype in Long Island project, Greg Lynn

Fonte: Branko Kolarevic (2003:20)

Nicholas Negroponte (in Kolarevic (2003:21) afirmou no artigo *The Architecture Machine* para o Cambridge University Press (1970), “ (...) a forma física é o resultado do efeito de um determinado conjunto de forças, durante um determinado tempo, e a variação da forma é regida pela variação de um determinado meio ao longo de um período de tempo (...)”. Na Natureza, a forma é o resultado de uma adaptação ao meio, os vegetais, crescem com uma inclinação correspondente à direcção do vento, as plantas mais frágeis são flexíveis, resistindo assim ao vento, as raízes dos vegetais têm a capacidade de contornar obstáculos, adaptando-se assim ao contexto em que se desenvolvem. Este exemplo é particularmente interessante, pelo facto de, à semelhança do que acontece com os edifícios, os elementos vegetais permanecem no mesmo local durante toda a sua existência. A forma dos vegetais está adaptada às forças da gravidade, do vento e da chuva, o desenvolvimento da planta vai depender de pequenas adaptações específicas do local, como exposição solar ou direcção do vento, assim como o contexto em que se insere. Todas estas características, contextualizadas para as plantas, são também válidas para a Arquitectura, segundo a abordagem de Lynn.

A visão de Negroponte surge num contexto muito distante das tecnologias digitais, por este motivo, uma afirmação que nunca poderá ser vista como tendenciosa em prol das tecnologias digitais, curiosamente, esta observação corrobora a perspectiva de Lynn.

Para Lynn esta estratégia permite autonomizar e contextualizar especificamente a implantação, o que em primeira análise poderá ser interpretado como uma visão redutora do projecto, remetendo para um ponto de partida automático. No entanto, este ponto de partida, não tem que ser obrigatoriamente redutor, do ponto de vista criativo, por um lado depende das variáveis tomadas em consideração pelo usuário, e qualquer alteração nas variáveis, traduz-se num resultado diferente, por outro lado, o mesmo ponto de partida poderá ser desenvolvido de infinitas formas diferentes.



Imagem 11 – Wozoco's Apartments (1997), MVRDV

Fonte: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=21056803>

O projecto Wozoxo Apartements (1997) dos MRDV, é o resultado de uma interpretação própria daquilo que é a “gravidade”, a metodologia do projecto passa pela interpretação das paisagens como um conjunto de forças, tão presentes como o terreno de implantação. A análise dinâmica do contexto, nem sempre é um reflexo directo da intervenção, por vezes, os MRDV optam por estabelecer condições contraditórias daquilo que seria natural.

Á primeira vista, é impossível encontrar semelhanças entre o trabalho de Lynn e os projectos dos MRDV, o que comprova que, apesar de ambos utilizarem animação como ferramenta geradora de forma, o arquitecto nunca perde a sua identidade na aplicação dos recursos digitais. Tal como o mesmo lápis é capaz de executar diferentes grafismos, um único modificador de um programa de modelação é capaz de ser interpretado sempre de uma forma diferente, não conduzindo obrigatoriamente a resultados semelhantes.

O desafio do projecto passa a ser o de evitar uma transcrição literal dos diagramas de forças e fluxos contextuais, assim como, conseguir gerir a sobreposição de variantes da envolvente estática e dinâmica, com um resultado global que respeite as qualidades inerentes ao contexto arquitectónico.

Com o processo gerativo de Arquitectura assistida digitalmente, o conceito de criatividade entra num novo patamar de complexidade. Este novo patamar poderá ser considerado como um estado evolutivo, em que as tecnologias são, mais uma vez, e como sempre foram ao longo da História, uma extensão das capacidades Humanas. Neste sentido, as ferramentas de modelação digital, surgem como um conjunto de dispositivos maximizadores das capacidades criativas humanas e, nomeadamente, participar de forma activa no processo de criação.

Apesar do comportamento das ferramentas de modelação estarem associadas a uma plataforma matemática rígida, e por isso, possuírem um comportamento linear, o usuário individualiza-se pela forma como combina estes mecanismos geradores de forma. Este processo de criatividade assistida digitalmente, não perde o seu carácter individualista. Deste modo, o usuário poderá desenvolver um método de abordagem próprio, um critério pessoal de utilização/cominação dos recursos digitais.

Na concepção digitalmente assistida, surge outro ponto relevante: o aproveitamento do acaso. Durante o processo gerativo, a aplicação das ferramentas de modelação e a sua respectiva parametrização conduz a resultados inimagináveis pelo usuário. Neste sentido, o usuário poderá retroceder voltando à forma inicial, ou no caso do resultado inesperado ser acidentalmente melhor, aproveitar o resultado do acaso. Este processo aumenta as possibilidades de encontrar soluções projectuais, uma vez que, o universo computacional participa de forma activa no processo imaginativo do usuário, podendo o acaso ser utilizado directamente, ou então, como fonte de inspiração para um outro modelo.

## 1.2– Superfícies

A necessidade de construir superfícies curvas esteve sempre presente ao longo da História, a construção de barcos, por exemplo, de um modo mais ou menos arcaico, desencadeou a necessidade de responder a questões funcionais que passam pela construção de superfícies com curvaturas complexas. Segundo David Salomon (1996:8) em 1974 surge o primeiro software de desenho digital, denominado por CAGD (desenho geometricamente assistido por computador). Em 1960, devido ao dispendioso processo de construção, o desenvolvimento da indústria automóvel e aeronáutica sentiu a necessidade de automatizar os desenhos, passando para a criação de modelos esculpidos por artistas e designers, e que serviriam posteriormente para a fabricação de moldes. As principais marcas de automóveis dos anos 60, tais como a Renault, Citroën, Ford e a General Motors financiaram a investigação na área da automação do desenho.

Os avanços no desenvolvimento de hardware permitiram que em 1990 os recursos digitais permitissem já produzir efeitos especiais em filmes, como o Jurassic Park. Com um crescente desenvolvimento e sofisticação, os recursos digitais são utilizados cada vez em mais áreas e mais recorrentemente, sendo a superfície, a principal invenção que desencadeou todo o processo evolutivo (Imagem 12).



Imagem 12 -CATIA (Computer Assisted Design and Manufacture),1981  
Fonte: <http://www.dassaultfalcon.com>

A evolução do desenho digital caminhou até aos dias de hoje para uma crescente sofisticação dos recursos tecnológicos, sendo actualmente possível gerar qualquer tipo de superfície. A facilidade e acessibilidade deste recurso fez com que se assistisse a uma revolução estética na Arquitectura, denominada por Stephen Perrella, “Hypersurface Architecture”. Segundo a autora, “ (...)Hyper é a dimensão existencial e superfície é o substrato energético da matéria.”(1998:112), o “hyper” tem uma relação directa com a Cultura, com o contexto social, enquanto que a “surface” diz respeito a um tipo de linguagem específica, um código linguístico reconhecido por um novo contexto social.

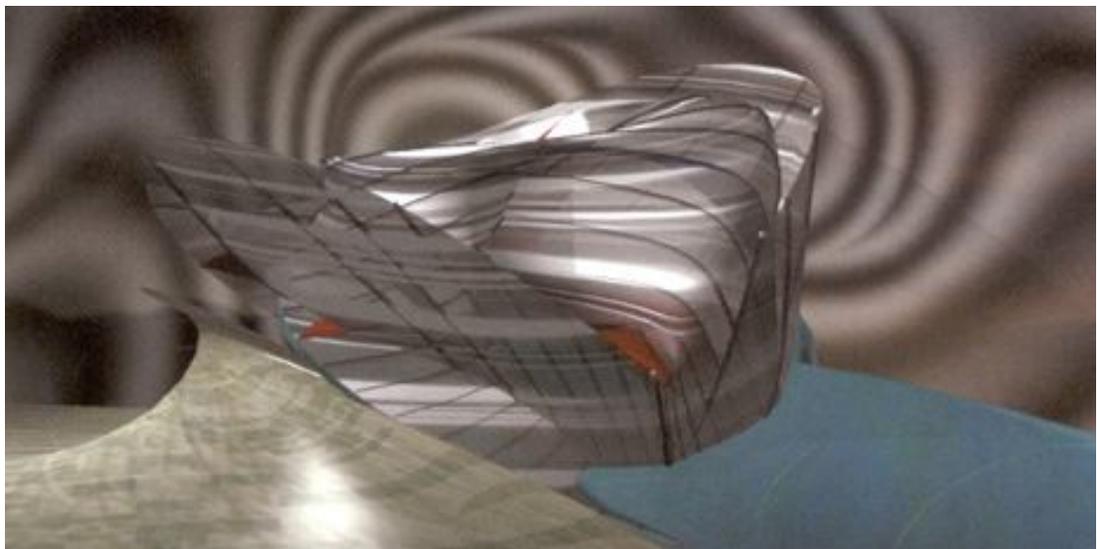


Imagem 13-Stephen Perrella - Mobius House  
Fonte: [http://architettura.supereva.com/extended/19981201/index\\_en.htm](http://architettura.supereva.com/extended/19981201/index_en.htm)

Perrella afirma que a “Hypersurface Architecture” é fundamentalmente um movimento crítico, que se debruça sobre dicotomias como a imagem e a forma, o interior e o exterior, a estrutura e o ornamento, o chão e o edifício (Imagem 13). A possibilidade de incorporar superfícies como elemento tectónico, permitiu que surgissem uma série de novas possibilidades.

A dicotomia referida por Perrella imagem/forma, ganhou uma maior importância, a forma enquanto resposta projectual, passou a ter que preencher um requisito em crescente valorização, a imagem.

A superfície passou também a ser o elemento que envolve o interior, estabelecendo uma relação mais ou menos ambígua com o exterior. Com a exploração das superfícies enquanto elemento tectónico, a relação interior/exterior perdeu a fronteira clara que possuía com os elementos tectónicos tradicionais, tal como acontece com a Mobius House (Imagem 7).

A dicotomia estrutura/ornamento é sem dúvida uma das particularidades mais relevantes desta nova expressão, a superfície permite integrar diversas partes do edifício, ou seja, ser simultaneamente, chão, paredes e tecto, assim como conter a estrutura, redes e instalações. Como resultado final, a superfície poderá ser tomada como o único elemento tectónico presente, não deixando espaço para mais nenhum elemento, como é o caso do ornamento, que neste contexto deixa de poder ser contextualizado. (Perella, 1998:81)

O Edifício tende a perder a relação de perpendicularidade em relação ao chão, o enorme potencial das superfícies faz com que a sua utilização segundo lógicas tradicionais seja descabida. Optando-se por novas estratégias e conceitos de relação do edifício com a paisagem, como acontece por exemplo nos projectos da Zaha Hadid, em que os volumes parecem sair de dentro do chão, em direcção ao céu (Imagem 14).



Imagem 14 -Zaha Hadid's Abu Dhabi Performing Arts Center

Fonte: <http://www.flickr.com/photos/journal3/379144349/>

Em suma, a superfície permitiu o avanço tanto a nível técnico como conceptual na Arquitectura, criando-se assim condições para dar resposta a um

novo contexto sociocultural. A “Hypersurface Architecture” (1998), de Perrella surge como um efeito de adaptação às forças socioculturais, uma nova estética desencadeada pela Era Digital.

### 1.2.1 – N.U.R.B.S.

As linhas NURBS (non uniform rational b-splines) desencadearam o crescente interesse pelas superfícies, enquanto elemento tectónico. As NURBS permitiram avançar para superfícies com variações de curva nunca antes conseguidas, porque as curvas já não são definidas através de linhas, arcos tangenciais e circunferências.

A grande vantagem da utilização das NURBS é a possibilidade de controlar a curvatura de um modo muito interactivo. No caso do círculo, se um dos quadrantes for esticado, a circunferência é transformada numa elipse. Apesar de permitir a alteração do tipo de curvatura, a circunferência não perde a curvatura uniforme e absolutamente simétrica. O mesmo já não acontece com uma curvatura NURBS, analisando o seguinte gráfico (Imagem 15), verifica-se a existência de duas variáveis, P1 e S. A variável P1 indica o sentido da deformação, enquanto que o S indica a acentuação da curva (David Salomon, 2006:307).

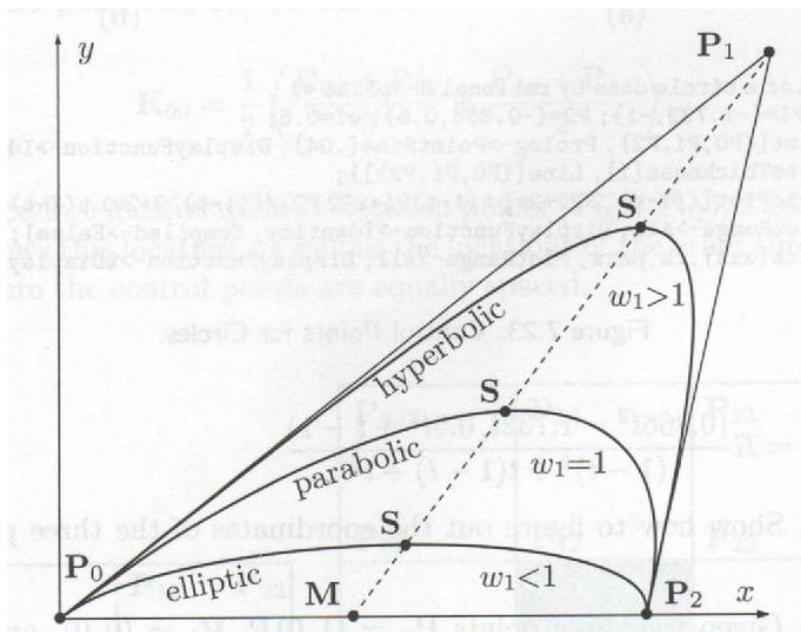


Imagem 15 – Gráfico referente a uma linha NURBS

Fonte: SALOMON, D. (2006:307). Curves and Surfaces for Computer Graphics. U.S.A: Springer

Na prática, o utilizador não está em contacto com as equações, podendo simplesmente parametrizar o número e localização dos “nós”, assim como, a curvatura em cada um deles (Imagem 16).

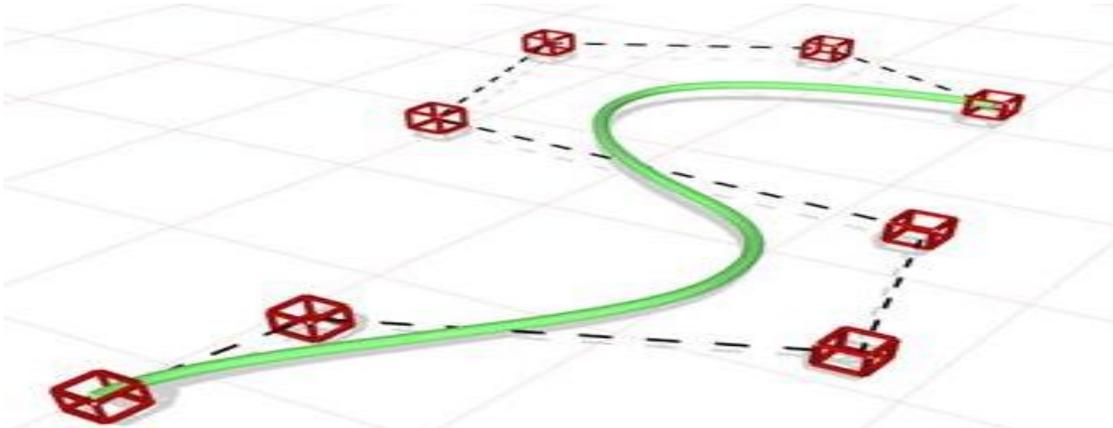


Imagem 16 – Curva NURBS

Fonte: [http://www.kxcad.net/autodesk/3ds\\_max/Autodesk\\_3ds\\_Max\\_9\\_Reference/graphics/il\\_nurbs\\_cvcurve.jpg](http://www.kxcad.net/autodesk/3ds_max/Autodesk_3ds_Max_9_Reference/graphics/il_nurbs_cvcurve.jpg)

A curva pode ainda ser ajustada em função de cada um dos pontos que a constituem, cada ponto possui dois controlos associados, sendo estes respectivos à deslocação do ponto no espaço e a extensão da sua influência sobre a curvatura (Imagem 17). (Barata, 2007:222)

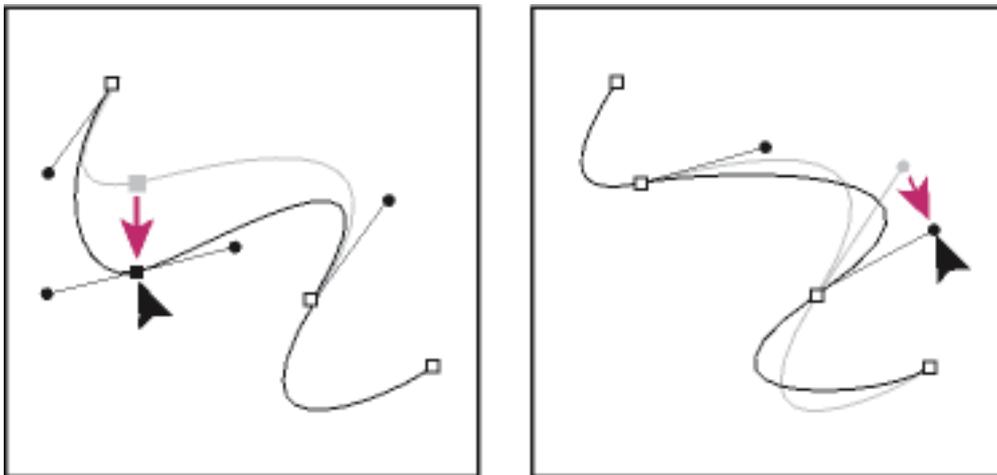


Imagem 17 – Controlo de pontos

Fonte: [http://help.adobe.com/pt\\_BR/Flash/10.0\\_UsingFlash/images/dr\\_16.png](http://help.adobe.com/pt_BR/Flash/10.0_UsingFlash/images/dr_16.png)

A equação que define as linhas NURBS pode ter no mínimo, como foi constatado anteriormente, duas variáveis. Os “nós” podem adicionar variáveis à equação, sendo que, cada alteração de curvatura nos “nós” produz alterações em toda a curva. A expressão matemática que define a curva pode ganhar uma complexidade ilimitada, sendo o único limite, a capacidade do sistema informático. No entanto, o uso das NURBS tendencialmente faz-se de um modo bastante simplista, as curvaturas mais elegantes conseguem-se com o mínimo de “nós”, o excesso de pontos de controlo faz com que a linha geralmente perca fluidez.

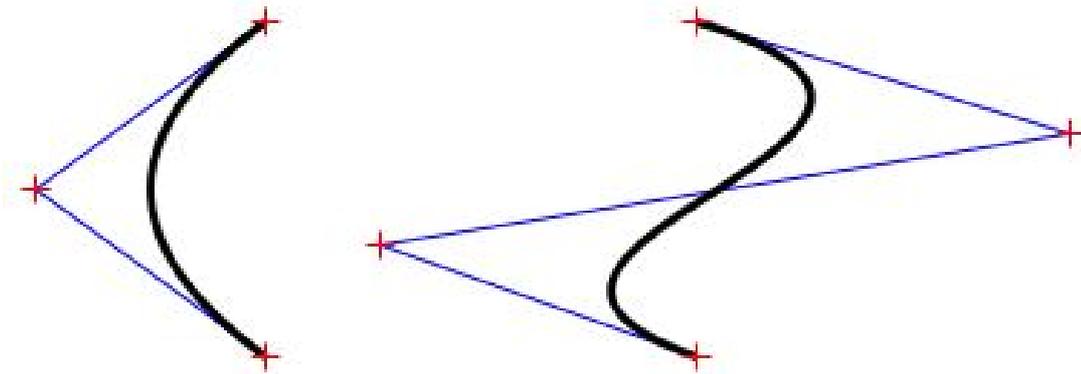


Imagem 18 – Splines

Fonte: <http://tclbitprint.sourceforge.net/tkpath/cairo/splines.png>

As NURBS são uma espécie de evolução das splines, estando por isso na sua génese, a capacidade de alterar o raio de curvatura ao longo do seu comprimento. As splines, de um modo geral, apresentam vantagens claras em situações de contra curva, em que a passagem entre as duas curvas é feita de um modo fluido, ao contrário do que acontece com as curvaturas desenhadas por tangentes e arcos, em que a passagem entre curvas é geralmente um momento de quebra (Imagem 18). (Salomon, 2006:302)

As vantagens das linhas NURBS são ainda mais notórias no desenho de superfícies. As superfícies NURBS podem ser executadas pela simples *extrusão* de uma curva, sendo esta a tipologia de superfícies NURBS a mais simples. Estas superfícies são mais correntemente produzidas a partir de duas curvas diferentes, posicionadas paralelamente, o software calcula a interpolação entre as duas curvas, conseguindo-se assim uma superfície em que qualquer secção corresponde a uma

linha NURBS diferente, ao contrário do que acontece no exemplo anterior. Estas superfícies complexas podem ainda ser geradas a partir de três ou quatro curvas, apesar de ser uma solução menos usual que a anterior, poderá resultar numa superfície igualmente interessante. À semelhança do que acontece com as curvas, a adição de mais de duas curvas na construção da superfície NURBS poderá implicar uma perda de fluidez na forma. (McNeel, 2002:31(2))

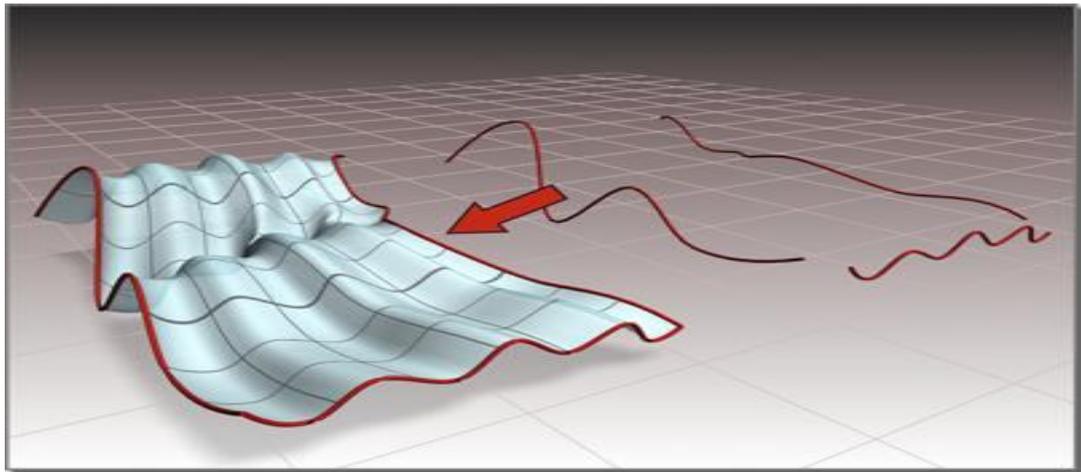


Imagem 19 – Superfícies NURBS

Fonte: <http://tecnologias3ddnopucovejitassaltarinas.files.wordpress.com/2008/07/mascara.jpg>

As NURBS permitem modelar um número ilimitado de superfícies complexas com uma quantidade mínima de etapas de modelação, as superfícies NURBS, por sua vez, podem também ser utilizadas para esculpir as faces dos sólidos platónicos, ou seja, podem ser intersectados nas faces regulares dos sólidos, criando uma nova face.

As superfícies NURBS podem ser editadas do mesmo modo que as curvas, o comando “lattice” activa os pontos de controlo da superfície, permitindo a modificação da geometria da superfície. Cada ponto pode ser activado e parametrizado, uma vez que se encontra ligado ao painel de parâmetros. A modificação pode ser feita simplesmente pelo comando *mover*, sendo neste caso possível modificar um conjunto de pontos em simultâneo. (Barata, 2007:187)

As superfícies NURBS permitem ainda parametrizar a malha bidimensional que a constitui, apesar de as superfícies existirem dentro do espaço tridimensional cartesiano, o espaço paramétrico que define a superfície é bidimensional. Deste

modo as superfícies NURBS têm duas dimensões no espaço paramétrico “U” e “V”, esta denominação tem como objectivo distinguir o espaço cartesiano do espaço paramétrico. (McNeel, 2002:185(2))

As direcções U e V são definidas por curvas isoparamétricas (isoparms), estas curvas contornam a malha paramétrica que define a superfície. Esta malha paramétrica bidimensional permite modelar a superfície através da modificação de cada ponto resultante da intersecção das direcções U e V. (Barata, 2007:312)

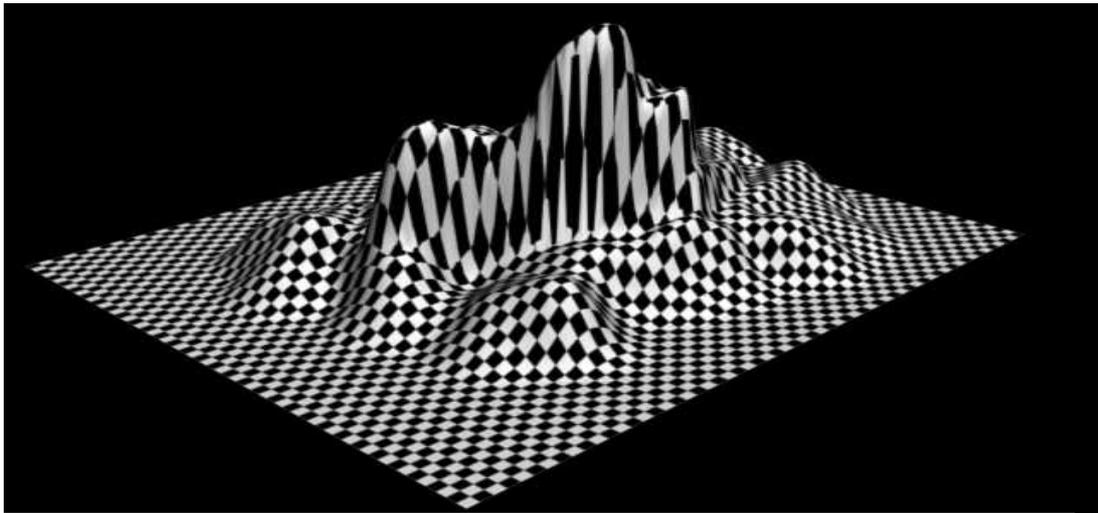


Imagem 20 – U V Mapping

Fonte: [http://www.abcmmedia.se/ogreforum/UV\\_bug\\_displacing.jpg](http://www.abcmmedia.se/ogreforum/UV_bug_displacing.jpg)

As curvas isoparamétricas além de facilitarem a visualização das formas, servem de suporte para a atribuição de padrões e texturas aos objectos. A malha U V serve de suporte para a atribuição de imagens à superfície, o comando “UVMap” controla as curvas isoparamétricas, permitindo assim ajustar a imagem à superfície.

### 1.2.2– Primitivas

No contexto digital, entende-se por forma primitiva, uma determinada geometria que tem como principal potencial, a sua adaptabilidade a contextos diferentes. Como refere Barata (2007:101), ao contrario das superfícies com

características geométricas únicas, as formas primitivas são identificáveis, podendo ser usadas tal como se apresentam inicialmente, ou então, modificadas e parametrizadas.

Os softwares de modelação como é o caso do 3DStudio Max, Rhino e Maya, possuem de um modo geral uma lista vasta de primitivas, sendo que, o tipo de primitivas varia em função da especificidade do programa de modelação. As primitivas podem dividir-se em duas famílias, por um lado os sólidos geométricos, mais propriamente, o tetraedro, o cubo, o octaedro, o dodecaedro e o icosaedro, a esfera, o cilindro, a pirâmide, o cone, e por outro, as formas primitivas específicas, caso se trate, por exemplo, de um software destinado à produção arquitectónica, estas formas específicas podem ser portas, janelas, lajes, pilares, paredes, etc.

A grande maioria dos softwares de modelação opta pela estratégia de possuir uma lista bastante completa de sólidos geométricos, o que é vantajoso a vários níveis, mais formas geométricas permitem uma maior margem de trabalho, assim como alguns ganhos ao nível de recursos do sistema, modelar uma forma implica sempre uma sobrecarga superior do computador comparativamente com o uso de formas primitivas. Em alguns casos, a modelação desenvolve-se unicamente a partir de formas primitivas ou então pela combinação das formas primitivas com as operações booleanas, ou seja, a união, subtracção e intersecção.

A utilização das formas primitivas apresenta-se geralmente como um ponto de partida. A parametrização, assim como a aplicação das ferramentas de modificação só podem ser utilizadas se existir uma geometria primitiva. Inicialmente, esta geometria pode representar uma superfície ou um sólido. O sólido pode ser convertido numa superfície, se for explodido, assim como, um conjunto de superfícies pode formar um sólido. Existe uma fronteira muito ténue entre as superfícies e os sólidos. Podendo se considerar que qualquer geometria modelada tem sempre na sua génese as formas primitivas (Imagem 21).



Imagem 21 – Forma primitiva com aplicação do modificador “twist”

Fonte: Imagem modelado no 3DStudio Max

um ganho considerável de rigor nos projectos produzidos. Com esta ferramenta, uma parede deixou de ser representada por duas linhas paralelas, passando a implicar que esta seja pensada como um objecto tridimensional. A utilização desta ferramenta pressupõe a introdução de dados concretos, como a espessura da parede, a composição, os revestimentos, a altura da parede, podendo até ser introduzido um valor de custo por metro quadrado. A correcta parametrização de todos os componentes do edifício poderá resultar por um lado em ganhos significativos de tempo, e por outro num maior controlo do projecto e menos surpresas em obra. Existem actualmente softwares que utilizam as formas primitivas e a sua parametrização como única ferramenta de trabalho, deixando os modificadores de lado, esta atitude poderá reflectir uma necessidade de dar uma resposta imediata ao mercado, actualmente não existe ainda uma total disponibilidade de meios para que a produção de edifícios que se afastem das técnicas de construção tradicionais. Neste sentido, surgem softwares não menos sofisticados, do ponto de vista da parametrização, mas que abdicam da adição exponencial de complexidade dos modificadores. O arquitecto passa a trabalhar directamente no modelo tridimensional, que actualiza automaticamente todas as alterações efectuadas nas plantas, cortes e alçados. (Grafisoft, 2008)



Imagem 22 -Sede daVodafone, Porto 2009

Fonte: <http://www.barbosa-guimaraes.com/menus/07/06/02.html>

Apesar de se tratar de um software desprovido das principais ferramentas da era digital, como é o caso das superfícies NURBS e dos modificadores, as formas primitivas quando exploradas devidamente do ponto de vista paramétrico, podem alcançar resultados muito significativos, como é o caso da sede da Vodafone (Imagem 22) do arquitecto José Barbosa. (Quinaz e al., 2007:22)

Este projecto, à semelhança do software que o concebeu, apresenta-se como um híbrido. Por um lado, recorreu-se à utilização de técnicas e materiais tradicionais, e por outro, o projecto foi desenvolvido tridimensionalmente, sendo que, na fase de projecto, as plantas, cortes e alçados serviram apenas para analisar pontualmente o projecto. Este exemplo mostra, de uma forma bastante clara, que os recursos digitais não chegaram apenas aos grandes gabinetes, que recebem grandes e onerosas obras, a modelação digital está agora acessível a todos os orçamentos.

O sistema BIM (modelos de informação de construção) (Grafisoft, 2008) apresenta-se hoje como uma solução viável para gabinetes de pequenas dimensões, tendo como base a parametrização de formas primitivas, permite que qualquer forma produzida seja materializada por processos tradicionais. O sistema BIM apresenta como principais vantagens a redução de erros de projecto, conseguido pelo controlo e visualização permanente do modelo tridimensional, assim como, um maior controlo de custos, uma vez que calcula o orçamento automaticamente. O trabalho de projecto simplifica-se bastante uma vez que

existem vários formulários ligados directamente ao modelo digital, são produzidos cortes, plantas, alçados e mapa de vãos de um modo automático. Qualquer alteração no modelo tridimensional tem influência automática em todos os formulários associados. O contrário também se verifica, podem-se fazer, por exemplo, acertos directamente no corte, e o modelo tridimensional assume as alterações. Outra grande vantagem destes softwares é a facilidade com que se geram os modelos tridimensionais, e consequentemente, todo o projecto, uma vez que os desenhos necessários surgem automaticamente.

### 1.3 - Animação

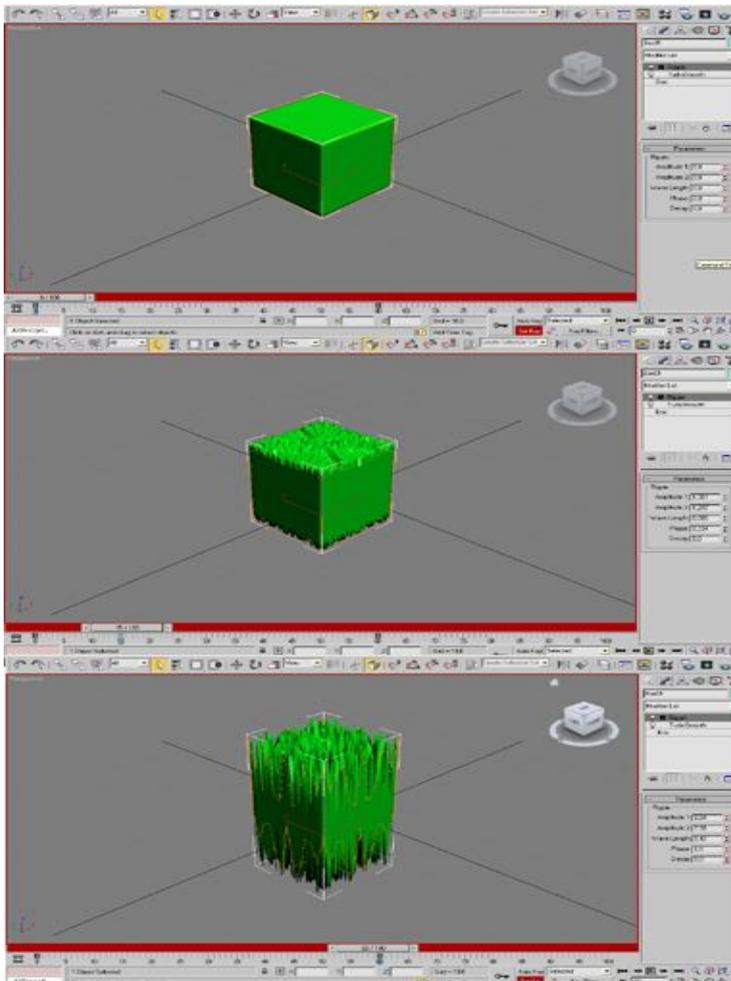


Imagem 23 –Aplicação de “keyframes”

Fonte: Imagem gerada no 3DS MAX®

A animação acrescenta a dimensão temporal, permitindo assim além de mostrar a deformação de um objecto, mostrar também o processo de deformação. Adicionando ao interface uma “barra de acção”, esta ferramenta permite definir “keyframes” da acção, por outras palavras, é definida uma barra de tempo, com a duração total da acção, seguidamente, são definidos momentos chave da acção na sequência temporal pretendida. O software calcula automaticamente a interpolação entre os vários “keyframes”, permitindo assim rapidamente animar uma qualquer acção. Na prática, o usuário precisa apenas de definir os momentos mais significativos, deixando o cálculo dos momentos transitórios ou intermédios para o software. (Barata, 2007:445)

Com a utilização da animação consegue-se além do resultado directo, também utilizar os vários “frames” do desenvolvimento da acção, ou seja, em vez de utilizar a acção dinâmica, o usuário pode utilizar momentos específicos de uma determinada metamorfose.



Imagem 24 –Guernica (1937), Pablo Picasso

Fonte: [http://www.artquotes.net/masters/picasso/pablo\\_guernica1937.htm](http://www.artquotes.net/masters/picasso/pablo_guernica1937.htm)

A introdução da dimensão temporal foi testada muito antes da chegada dos recursos digitais, segundo Gregory More (2001:20) o pintor Leopold Survage em 1912 criou a primeira animação abstracta, intitulada por “Rhythm-colour aymphonies in movement”, que antecederia o movimento Cubista. Tal como acontece hoje na Arquitectura, o mesmo ideal de concepção não implicou que os resultados fossem semelhantes, surgiram diferentes abordagens, como a de Pablo Picasso, em

que, para além de ter um estilo bastante identificativo, produziu várias interpretações convergentes no sentido da introdução da dimensão temporal.

Segundo Mark Burry (2001:7) a animação apresenta duas grandes vantagens para o desenvolvimento e representação projectual: por um lado os edifícios são tratados tal como são na realidade, objectos animados, como refere o autor “real buildings”, por outro lado, o projecto passa por um processo de avaliação, sendo a última realizada dentro de um universo de formas muito semelhantes.

Mark Burry (2001:6) vê as ferramentas de animação, não apenas como uma ferramenta, mas como um pretexto para uma nova consciencialização. Esta consciencialização é feita a dois níveis. Primeiramente, os instrumentos tradicionais de projecto fazem com que o arquitecto tendencialmente veja a Arquitectura como um acontecimento estático, o que na realidade não se verifica. Num segundo nível, o facto da forma ganhar uma nova exigência, dentro de uma determinada tipologia formal existe num conjunto infinito de formas equivalentes, com os recursos digitais, mais propriamente, as ferramentas de animação, o arquitecto opta pela forma mais adequada, dentro de um conjunto de formas equivalentes.

Bernard Tschumi (2001:17) define a Arquitectura como o encontro do espaço com os acontecimentos e o movimento, uma sequência dinâmica de movimento desdobrada em sequências estáticas de espaços. Esta definição, ou redefinição motivada por um novo paradigma, vai de encontro com os “real buildings” de Mark Burry, no entanto, a interpretação da Arquitectura como acontecimento dinâmico é bastante distinta nos dois autores. Mark Burry reconhece o potencial da animação para a consciencialização do arquitecto de um contexto dinâmico, enquanto que Bernard Tschumi, leva a animação até à concepção do edifício, materializando os frames de animação em elementos tectónicos repetidos. A mesma ferramenta é aplicada segundo critérios diferentes pelos dois autores, no entanto, ambos reconhecem a importância da adição da dimensão tempo ao espaço cartesiano.

### 1.3.1 - O contexto digital

O contexto sempre foi a principal condicionante da prática da Arquitectura, a tecnologia digital permite actualmente dar o “passo seguinte”, adicionar a dimensão temporal ao contexto. A Arquitectura, enquanto exercício crítico, parte na grande maioria das vezes da interpretação das condicionantes. Analisando o universo de um modo global, o tempo surge como uma invenção Humana, uma abstracção, capaz de traduzir em números um intervalo entre dois acontecimentos.

Segundo G. More (2001:22) no contexto digital, a introdução da dimensão temporal não é feita de um modo linear, sendo passível de várias interpretações, se por um lado o *presente*, *passado* e *futuro* existem simultaneamente, por outro podemos pensar no contexto digital desprovido de *passado* e *futuro*, existindo unicamente o *presente*, possuindo várias representações associadas a “tempos” distintos.

O *tempo* perde a irreversibilidade no contexto digital, a qualquer momento a função “undo” retrocede até aos passos anteriores, ou então, basta retroceder a barra de tempo, o mesmo acontece relativamente ao *futuro*, surgindo assim uma nova concepção de *tempo* no universo digital. O *tempo* é uma espécie de fio condutor do *contexto digital*, o interface é geralmente organizado em função de uma barra de tempo em que os vários acontecimentos são organizados. Deste modo, o usuário pode gerir a relação entre os vários acontecimentos e coordena-los com a barra de tempo.

A grande vantagem da *animação* enquanto representação dinâmica das condicionantes da envolvente do edifício, é o facto de superar o próprio contexto real, ou seja, o Arquitecto não prevê apenas acontecimentos pontuais, não questiona apenas um outro eventual acontecimento. O contexto digital é um sistema, um formulário que permite prever tudo o que poderá acontecer durante a existência do edifício. Supera a realidade na medida em que permite ir um pouco mais além, pensar na Arquitectura como um universo cinético. Além de se integrar num contexto repleto de movimento, o edifício pode ser pensado para interagir com a envolvente de forma activa.

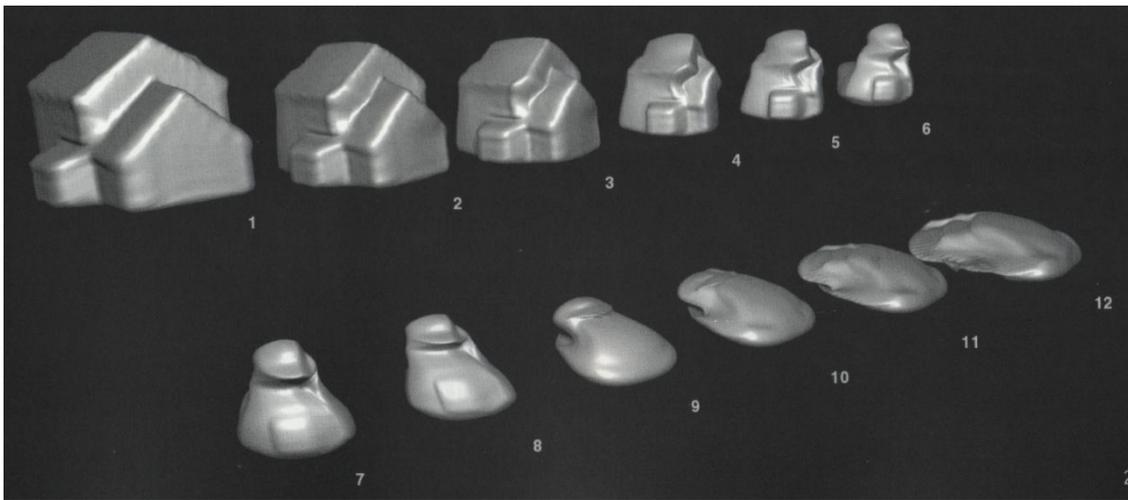


Imagem 25 –Housings Project, Kolathan Mac Donald 2003  
 Fonte: kolarevic, 2003:224

### 1.3.2 - Formas equivalentes

A aplicação da *animação* permite chegar a um conjunto de formas equivalentes, resultantes da introdução de um determinado conjunto de condicionantes, em que, a cada “frame” corresponde uma forma que introduz uma pequena variação. O mesmo acontece com os seres vivos, em função de um conjunto de condicionantes, existem variações dentro da mesma espécie.

John Frazer (1995), citado por Kolarevic (2003:23) vai um pouco mais longe, adquirindo uma posição evolutiva da Arquitectura, sendo esta evolução passível de ser traduzida para um formulário. Por outras palavras, da mesma forma que a Humanidade enquanto espécie natural evolui como resposta às alterações do meio e do estilo de vida, a Arquitectura poderá também evoluir através de um formulário semelhante ao ADN Humano.

A perspectiva de Frazer afasta-se por completo de Mark Burry, a mesma ferramenta neste caso tem interpretações de tal modo distintas que a dada altura a única coisa que tem em comum é o ponto de partida. Mark Burry vê numa sequência de frames o pretexto para que o Arquitecto seja mais sensível às diferenças morfológicas das formas. Frazer, por sua vez, vê uma sequência de frames como uma evolução formal, em vez de se preocupar com a “forma mais eficiente”, centra-se

mais na parametrização da animação, na introdução de condicionantes que poderão resultar numa evolução real da arquitectura. Tendo como limite, algo semelhante à evolução do ADN Humano, em que cada cruzamento da espécie vai introduzindo pequenas alterações de ADN, que fazem com que a espécie Humana evolua a par do “Habitat”.

Segundo Kolarevic (2003:23), a investigação de Karl Chu baseia-se na utilização de um sistema concebido para simular o crescimento de plantas, o software L-System®, baseia-se nas regras de ramificação, e quando aplicado a uma geometria diferente da forma das plantas, resulta num processo gerativo sequencial, que vai aumentando de complexidade de forma exponencial. Este software de modelação digital pode igualmente ser aplicado à Arquitectura.

A perspectiva de Karl Chu parece ocupar um espaço intermédio entre estas duas abordagens, centrando-se por um lado, na importância dos condicionantes de animação enquanto formulário gerativo, mas por outro, o resultado é explorado não de um modo evolutivo, à semelhança de Mark Burry, vê a sequência de frames, como um universo de possibilidades, em que a sua capacidade crítica distingue as formas mais “viáveis”.

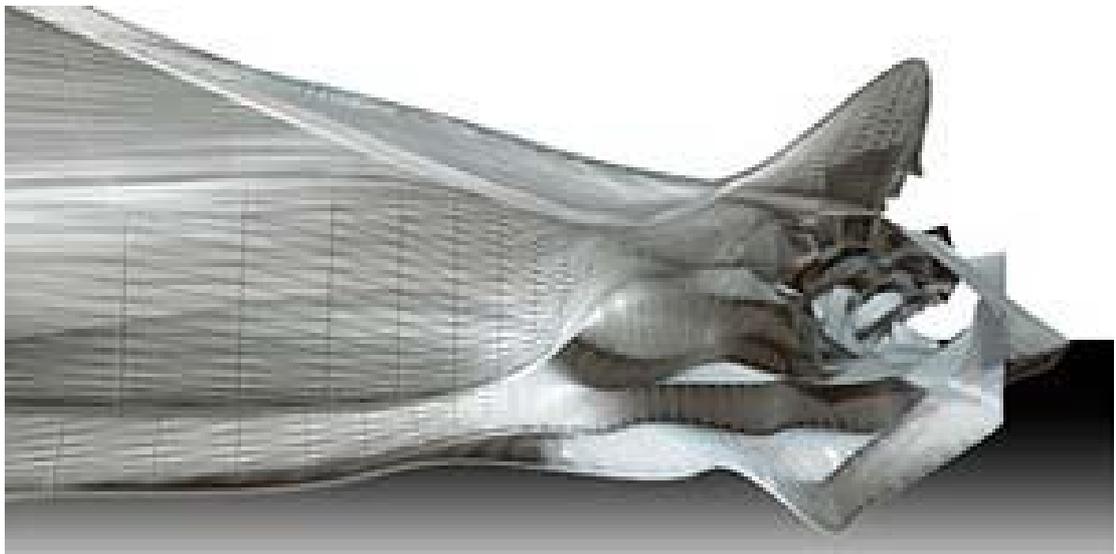


Imagem 26 –Render de Karl Chu

Fonte: [http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/imagens/077\\_07.jpg](http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/imagens/077_07.jpg)

As perspectivas destes três autores resulta de diferentes interpretações da mesma ferramenta, analogamente ao que acontece no universo digital, existem muitas outras

possibilidades semelhantes, mas, pelo facto de adicionarem uma qualquer variante, o resultado afasta-se de qualquer outro. As ferramentas digitais têm como principal vantagem a adição de possibilidades, que estimulam a criatividade do usuário, permitindo assim, uma maior liberdade no momento da concepção. A utilização da animação não implica que o resultado seja obrigatoriamente uma geometria complexa, o resultado depende sempre dos pressupostos valorizados pelo usuário.

Em Maio de 1997, o campeão mundial de xadrez Kimovich Kasparov, foi derrotado pela Deep Blue. Tal como Kasparov, esta máquina é capaz de calcular jogadas, tendo uma vantagem inquestionável, a possibilidade de prever um número muito superior de jogadas comparativamente ao seu opositor humano. Este episódio mostra claramente que um software é capaz de desenvolver um formulário de um modo intensivo, e que esta capacidade aliada ao engenho e criatividade Humana contribui para um aumento de possibilidades. Do mesmo modo, os softwares de animação através de formulários previamente estabelecidos, são capazes de gerar formas impossíveis de alcançar pelos processos tradicionais de desenho.

#### **1.4 – Análise**

As ferramentas de *animação* desenvolveram-se tão especificamente nalgumas vertentes que criaram ferramentas que se autonomizam da animação, as ferramentas de *análise* constituem um exemplo concreto desta evolução. A necessidade de testar os edifícios relativamente ao seu desempenho, fez com que a aplicação da animação com base em formulários de avaliação evoluísse para ferramentas de análise. Tratando-se de um uso específico e concreto, como o de avaliar por exemplo, o comportamento térmico de um edifício, já não faria muito sentido utilizar uma ferramenta tão abrangente como a *animação*, neste sentido, foram desenvolvidos ferramentas e softwares específicos de análise (Imagem 27).

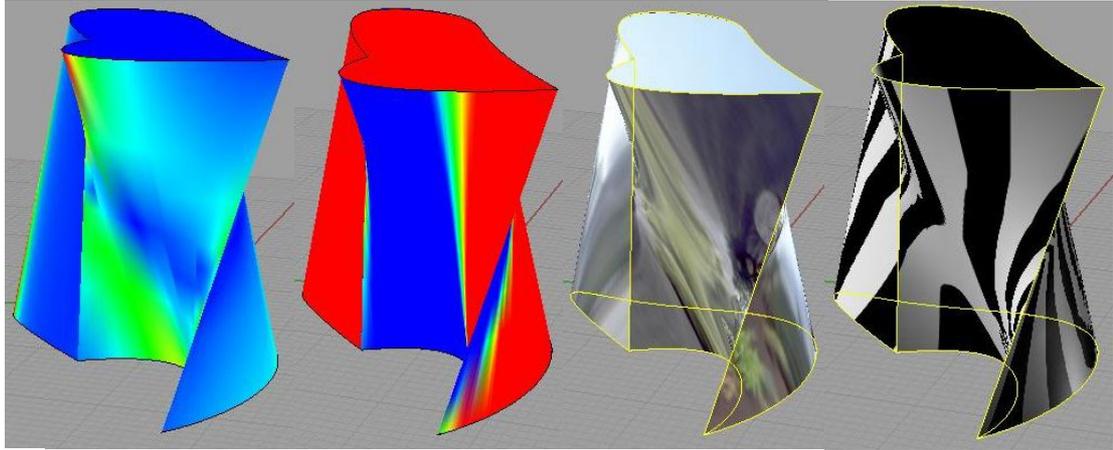


Imagem 27 – Aplicação de funções de análise

Fonte: Imagem gerada no Rhino

Segundo Kolarevic (2003:25) existem dois tipos de ferramentas de análise diferenciados: os FEM (método de elemento finito) e os CFD (computação dinâmicas fluidas). Os primeiros dizem respeito ao cálculo de estruturas, da dinâmica de fluidos ou de análise para construção. O modelo geométrico é subdividido em pequenos objectos ligados por uma malha, permitindo assim analisar o edifício por partes. Os segundos, os softwares de dinâmica de fluidos, são utilizados na sua grande maioria para a análise de fluxos de ar dentro e fora do edifício. Estes softwares calculam as transferências térmicas ocorridas dentro do edifício, podendo ainda simular uma situação de incêndio e as respectivas combustões.



Imagem 28 –Projecto Zed, 1995

Fonte: [www.future-systems.com/architecture/](http://www.future-systems.com/architecture/)

As ferramentas e softwares de análise fizeram com que se experimentasse uma nova possibilidade, a de desenvolver um projecto, tendo como principal prioridade o desempenho. A forma adquire um carácter meramente funcional, sendo todo o projecto ajustado no sentido de se conseguir um máximo desempenho nas áreas propostas como principais preocupações projectuais.

Segundo Kolarevic (2003:25) o arquitecto Jan Kaplicky utilizou a tecnologia CFD na concepção do projecto Zed (Imagem 28), segundo o autor, o edifício foi concebido para ser auto-suficiente em termos das necessidades energéticas, integra células foto voltaicas e uma turbina eólica colocada num enorme buraco no centro do edifício. O edifício foi modelado no sentido de canalizar o máximo de vento para a turbina, contando para isso com a análise CFD para determinar a forma ideal.

O projecto Zed é um bom exemplo da aplicação dos softwares de análise, na medida em que exemplifica o limite da aplicação destes softwares na prática da Arquitectura (Kolarevic, 2003:25). A resposta projectual pretende unicamente responder a questões de carácter de auto-suficiência energética. Questões estas, que são respondidas pelo projecto Zed na perfeição, o mesmo já não se poderá dizer avaliando o projecto enquanto exercício de Arquitectura. Dificilmente um projecto desenvolvido unicamente com a preocupação de responder totalmente a uma determinada eficiência, pode responder a um contexto de integração. Não é por acaso que o projecto Zed hesita tocar o chão, parecendo realmente não pertencer ao sítio.

Segundo o mesmo autor, o edifício City Hall de Norman Foster (Imagem 29), utiliza esta tecnologia de um modo mais moderado, o projecto foi desenvolvido com todas as condicionantes correntes na Arquitectura, e numa fase final, os engenheiros testaram o desempenho acústico do edifício. O resultado da análise desencadeou uma série de alterações ao projecto no sentido de melhorar o desempenho do edifício.

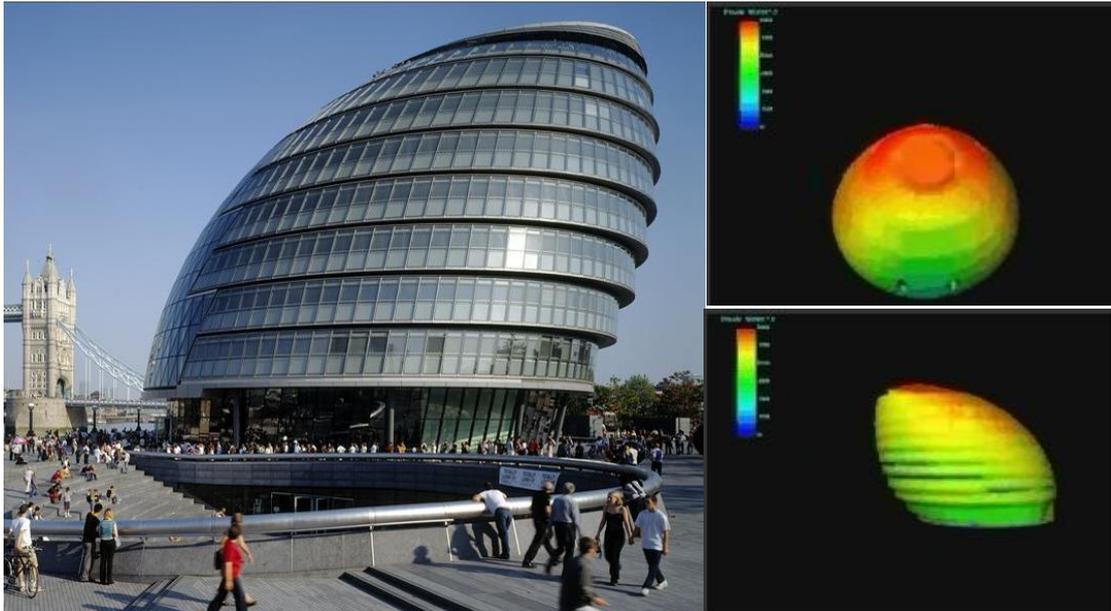


Imagem 29 – Análise solar, City Hall (1995), Norman Foster

Fonte: <http://www.fosterandpartners.com/Practice/Default.aspx>

A superfície curva, poderá não significar apenas o surgimento de uma nova estética resultante da aplicação dos recursos de modelação digitais, mas também, associar-se à ideia de construção sustentável. Tal como acontece com os organismos vivos, as formas curvas constituem a resposta da Natureza ao meio, o mesmo poderá acontecer com a Arquitectura (Imagem 30). Uma forma curva consegue sempre responder melhor às análises performativas, e até mesmo às questões estruturais. Por exemplo, na forma cúbica comparativamente à forma esférica, as faces laterais da primeira fazem um esforço enorme para aguentar uma face equivalente perpendicular, enquanto que, dentro de uma forma esférica, o plano paralelo ao chão resume-se a um ponto, ao qual os esforços convergem de um modo uniforme.

A forma curva, em particular as superfícies complexas, poderão ganhar deste modo um pretexto aceitável para serem desenvolvidas, inicialmente foi possível concebe-las digitalmente, seguidamente, foi possível construí-las, no entanto perdurou uma questão repleta de cepticismo: valerá a pena investir tanto numa nova estética? Será a questão da linguagem assim tão importante? Na realidade, quando abordada do ponto de vista político-social, até é, no entanto, o projecto de Arquitectura deve ir mais além, a superfície curva não deve ser utilizada como um capricho, mas sim como uma resposta mais eficiente a um determinado contexto.



Imagem 30 – Kunsthhaus, (2003), Peter Cook and Colin Fournier / LMJ Graz

Fonte: <http://www.wayfaring.info/wp-content/uploads/2008/05/kunsthhaus18.jpg/>

A análise digital pode ainda ser utilizada para moldar os edifícios de uma forma dinâmica, assemelhando-se assim à dos softwares de animação. Um projecto finalizado, pode ser submetido à análise de desempenho em função de um determinado factor, sofrendo alterações metamórficas resultantes do cálculo de desempenho. Tal como acontece na animação, o software gera várias formas que resultam da interpolação entre o modelo analisado e o modelo ideal. O usuário, poderá encontrar numa das geometrias intermédias a que melhor responde ao contexto em causa, ou seja, o “ponto de equilíbrio”.

## 1.5 – A criatividade no universo digital.

O contexto digital alterou a relação do arquitecto com o projecto, o desenvolvimento das capacidades de desenho manual foi dando lugar ao domínio das ferramentas disponíveis no interface. Cada um dos quatro elementos considerados como a base do interface neste documento, constituem o núcleo de um sistema de ramificações e interligações ilimitadas. As superfícies constituem o elemento *material*, o objecto a ser trabalhado, podendo ser modificado, animado, ou então, partir directamente para a análise.

No processo criativo, a aplicação da modificação e a animação podem ser utilizadas alternadamente ou em simultâneo. Neste sentido, não existe um padrão de utilização no processo de concepção, o usuário é o autor criativo do próprio processo de trabalho. Geralmente a fase inicial de concepção prende-se mais com as superfícies, modificadores e animação, sendo a análise deixada para o fim com o objectivo de maximizar a performance do projecto. No entanto, como foi constatado anteriormente, existem variadíssimas maneiras de utilizar os recursos digitais, cada autor adapta uma perspectiva interpretativa pessoal ao método de trabalho. Neste sentido, a mesma ferramenta de trabalho pode ser utilizada de formas diferentes, tantas vezes quanto o numero de utilizadores.

As siglas CAD, CAAD, CAM, CAGD, CATTIA têm em comum o prefixo “CA” “computer aided...”, a sofisticação das ferramentas digitais vão um pouco mais longe, não se trata apenas de um desenho assistido por computador, os softwares representam actualmente uma parte considerável do processo criativo, não de um modo directo, mas com todo o leque de opções que introduzem. O usuário não perde por isso a autoria, as opções e estratégias de projecto continuam a pertencer ao arquitecto, no entanto, o ambiente digital abre a visão do usuário, a possibilidade de inserir alterações está sempre em aberto, sem que se perca trabalho. O Arquitecto fica assim mais aberto à experimentação, na certeza de que, caso algo não resulte, basta retroceder para voltar à fase em que se encontrava.

Neste sentido, poderemos estar na presença de um “CAC”, um sistema de criatividade assistida por computador, este termo é tão legítimo como o CAD, o desenho assistido por computador pertence ao autor, não é gerado automaticamente pelo computador. O mesmo acontece com o “CAC”, não se trata de uma máquina feita para ter ideias, a criatividade pertence ao usuário, o software desempenha duas funções significativas. Por um lado, e como já foi referido, através das várias ferramentas de parametrização, modificadores topológicos, animação e análise, abre-se um universo de possibilidades. Por outro lado, facilita a comunicação entre o pensamento e o projecto. No processo tradicional o pensamento é transmitido para o papel através da mão, a capacidade do arquitecto em materializar uma determinada forma depende da capacidade de desenho. O mesmo não acontece com os recursos digitais, se nem toda a gente é capaz de desenhar bem, toda a gente é capaz de operar um software.

As vantagens da aplicação dos recursos digitais são bastante claras, actualmente qualquer edifício de referência utiliza os novos recursos de projecto, surgem cada vez mais novas abordagens formais, essencialmente formas curvilíneas. Apoiadas numa tecnologia paralela de fabricação que as viabiliza tecnicamente, esta nova estética emergente é a prova da confiança e aceitação nas ferramentas de desenho digital.

O Arquitecto, enquanto criador, alia as suas capacidades cognitivas a um universo paramétrico matemático, juntando-se assim o melhor de dois sistemas. A criatividade Humana é ilimitada, no entanto, o mesmo já não se poderá dizer das capacidades de cálculo, o computador não ostenta capacidades cognitivas, mas por outro lado, apresenta um potencial infinito de cálculo. Como diz Kolarevic (2003:26): “O criador torna-se essencialmente um “editor” do sistema concebido, em que a escolha das formas inerentes é impulsionada em grande parte pela sua sensibilidade estética e plástica. A capacidade dos processos digitais para gerar “novos” modelos é, portanto, altamente dependente do criador e das suas opções cognitivas”.

Segundo Torrance (1965 in Wikipedia), a *"criatividade é o processo de tornar-se sensível a problemas, deficiências, lacunas no conhecimento, desarmonia; identificar a dificuldade, buscar soluções, formulando hipóteses a respeito das deficiências; testar e retestar estas hipóteses; e, finalmente, comunicar os*

*resultados*". A frase de Torrance, completamente descontextualizada da problemática em causa, adiciona uma questão de especial relevância, no processo criativo consta, por um lado, um formulário de hipóteses e, por outro, um processo de testar hipóteses. Partindo da definição de criatividade de Torrance, poder-se-á dizer que, o Homem nunca foi tão criativo, na medida em que, apenas com os recursos digitais de modelação é possível, por um lado, criar um formulário intensivo de hipóteses, e por outro, testá-las igualmente de um modo intensivo. Torrance não vê a criatividade como o produto de um raciocínio iluminado, segundo a definição, a criatividade parte de um processo de experimentação, o que é convergente com o processo de trabalho no contexto digital.

O acto criativo apoiado em recursos digitais adiciona a possibilidade de reconhecer o imprevisível e o inesperado como meio de transformação poética e criativa, sendo este, o produto de uma teia complexa de interdependências e interacções de parametrização. Neste sentido, a alteração de um determinado parâmetro pode produzir alterações radicais no resultado final. Como refere Kolarevic (2003:26), o contexto digital caracteriza-se pela “não-linearidade”, a alteração de um único parâmetro pode ter uma influência superior a um conjunto de outros parâmetros. A era da informação e da globalização, tal como constata Kolarevic (2003:27) e Stephen Perrella (1998:133,7) a propósito da *Hypersurface Theory*, constitui um profundo impacto nas sociedades, economias e culturas. A prática da Arquitectura enquanto exercício interpretativo da sociedade, acompanha as alterações, tentando responder não só as alterações de vida, mas também a uma nova expressão. Os recursos digitais, por um lado, são o agente transformador da sociedade, e por outro, constituem o meio pelo qual a Arquitectura é capaz de responder às novas exigências.

## 2 – FABRICAÇÃO ASSISTIDA DIGITALMENTE

Os avanços tecnológicos na área dos recursos digitais não se esgotaram apenas na área da concepção digital. Paralelamente ao desenvolvimento dos recursos de concepção digital, desenvolveram-se também técnicas de materialização física dos modelos digitais. Neste sentido, as máquinas de fabricação e os softwares de concepção passaram a ter uma relação cada vez mais próxima, assegurando deste modo, a viabilidade construtiva das formas complexas que são facilmente geradas pelas ferramentas digitais.

A “shark” é um exemplo de máquina de computação numericamente controlada (CNC), ou seja, esta máquina reconhece as coordenadas dos pontos que contem o modelo digital, e é capaz de as reproduzir num modelo físico à escala (Imagem 31).



Imagem 31 – CNC “shark”

Fonte: [http://toolmonger.com/wp-content/uploads/2008/03/CNC\\_Shark.jpg](http://toolmonger.com/wp-content/uploads/2008/03/CNC_Shark.jpg)

A fabricação de objectos de pequena escala, nomeadamente utensílios ou objectos de design industrial, não oferece grande desafio no que diz respeito à sua

fabricação, o mesmo já não poderá ser dito em relação à produção arquitectónica. Com a exploração das potencialidades dos recursos digitais, a questão da viabilidade construtiva tornou-se uma questão bastante corrente no contexto arquitectónico. Este panorama ainda se agravou mais pela exploração de superfícies curvas NURBS. Como afirma Kolarevic (2003:31), o desafio da materialização tectónica pôs em causa a credibilidade da complexidade introduzida pela era digital.

Esta questão da “credibilidade” poderá não se referir apenas à dificuldade de concepção de determinadas geometrias, mas também à sua viabilidade económica. Além da questão óbvia respeitante à escolha da melhor técnica de construção, a escolha do meio mais economicamente viável, surge também como um factor igualmente importante. As potencialidades dos recursos digitais mantêm-se descredibilizadas no caso dos meios de materialização serem economicamente inviáveis.



Imagem 32 – Fish Sculpture (1992), Barcelona, Frank Gehry

Fonte: [http://toolmonger.com/wp-content/uploads/2008/03/CNC\\_Shark.jpg](http://toolmonger.com/wp-content/uploads/2008/03/CNC_Shark.jpg)

A “credibilização” dos recursos digitais foi conseguida pela construção de alguns exemplares bem sucedidos como é o caso da Fish Sculpture de Frank Gehry (1992) em Barcelona (Imagem 32). Este projecto foi tão possível como a construção de um avião. Frank Gehry não arriscou em fazer algo que nunca tivesse sido feito, apenas o fez de outro modo. Com o auxílio do software CATTIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application), Frank Gehry aplicou a tecnologia usada

correntemente na construção aeroespacial na Arquitectura. Este software permitiu decompor o modelo digital em componentes de fabricação, com um respectivo código, de forma a tornar possível a montagem no local. Este software permitiu ainda incorporar informação respectiva ao desenvolvimento do projecto, processo de construção e análise de comportamento estrutural. (Kolarevic, 2003:31 )

Este projecto além de constituir uma prova evidente da viabilidade desta tecnologia, permitiu também alimentar a confiança necessária para fomentar o desenvolvimento de mais recursos de fabricação assistida digitalmente no contexto arquitectónico. Partindo deste exemplo, em que a aplicação de uma tecnologia utilizada na construção de aeronaves resultou de igual modo na construção de um edifício, torna-se obvia a garantia de que, se o sistema for otimizado enquanto ferramenta ao dispor do Arquitecto, o seu potencial será ainda maior.

Os subcapítulos que se seguem dizem respeito às técnicas de fabricação digitalmente assistida. A dissecação desta temática foi exposta segundo a perspectiva de Branko Kolarevic, remetendo directamente para a maquinaria de fabricação utilizada. Esta estratégia de abordagem é o resultado de uma escolha que visa um meio de exposição mais objectivo. Note-se por exemplo que Lisa Iwamoto (2009) no livro *Architectural and Material Techniques* opta por omitir as explicações técnicas da maquinaria utilizada, centrando-se nas estratégias digitais que tornam o modelo passível de ser materializado. Estas duas perspectivas revelam um dado importante para o estudo da fabricação digital, realçam a existência de uma barreira transitória muito ambígua entre a fase de concepção do projecto e a fase de fabricação. Depreende-se assim que, para Kolarevic a fabricação inicia-se no momento em que as máquinas de fabricação reconhecem o ficheiro digital, contrariamente a Lisa Iwamoto que tende a considerar a aplicação de modificadores como: “Sectioning”, “Tessellating”, “Folding”, “Contouring” e “Forming” como o início da fase de fabricação. Perspectiva esta igualmente válida, uma vez que é nesta fase que o usuário opta pelo modificador que permite a técnica de fabricação mais favorável.

## 2.1 – CMM

Partindo mais uma vez do exemplo do trabalho desenvolvido pelo Arquitecto Frank Gehry, a fase de concepção não se apoia directamente nos recursos e potenciais dos recursos digitais. O desenvolvimento do projecto surge da mesma forma que uma escultura, sendo o resultado de alterações sucessivas de um modelo à escala. Nestes casos torna-se indispensável inverter o processo, ou seja, em vez de gerar o projecto digitalmente e materializá-lo recorrendo à tecnologia CAM (Computer Aided Manufacturing), o projecto é gerado manualmente directamente no modelo físico e digitalizado, duplicando-se sob a forma de um modelo digital tridimensional. Como refere Lisa Iwamoto (2009:2), o modelo digital é traduzido directamente em produção física, pela utilização de máquinas de esculpem as faces do material, resultando numa cópia exacta do modelo digital. Este sistema permite partir de um modelo físico, reproduzi-lo no modelo equivalente digital, podendo este ser sujeito a alterações, do mesmo modo que se o projecto tivesse sido gerado unicamente no computador,

O processo acima descrito é possível com o sistema CMM (Coordinate Measuring Machine). Este sistema é bastante semelhante aos scanners convencionais, adicionando a particularidade de além de scanear no eixo X e Y, desloca-se também segundo o eixo Z. Esta característica faz com que seja capaz de digitalizar mecanicamente as superfícies que limitam o objecto (Imagem 33).



Imagem 33 – Scanner 3D

Fonte: <http://images.google.pt/imgres?imgurl=http>

O sistema CMM constitui um enorme potencial para os arquitectos que ofereçam alguma resistência à modelação digital, com este sistema a tecnologia CAM não é apenas acessível a Arquitectos adaptados aos novos recursos de concepção digital, recorrendo à digitalização de maquetas elaboradas manualmente, a utilização dos sistemas de manufactura assistida digitalmente ficam acessíveis a qualquer profissional. (Kolarevic, 2003:32)

A digitalização é conseguida pela projecção de um feixe laser que ao atingir um objecto físico, é reflectido e captado pelo scanner. Este processo permite que o software analise as propriedades da superfície, assim como, calcular as respectivas distâncias. Este princípio de funcionamento do sistema CMM poderá ter um enorme potencial na construção civil, com esta tecnologia é possível estabelecer uma relação constante entre o modelo digital e a obra. Deste modo, os desvios do modelo digital são detectados numa fase precoce, podendo ser imediatamente corrigidos.

Com todas estas ferramentas, a Arquitectura vê-se num universo de concepção cada vez mais tridimensional, deixando para trás as tradicionais plantas, cortes e alçados. Os tradicionais levantamentos topográficos, com curvas de nível que convencionam secções do terreno de metro a metro, ou de meio em meio metro, poderão estar em vias de ser substituídos por um modelo digital do terreno. Esta tecnologia aplicada em grande escala constitui um enorme potencial. Além dos óbvios ganhos ao nível do rigor do levantamento, uma vez que já não se trata de uma sequência de secções, mas sim, da análise de uma superfície. Este sistema permite também que o Arquitecto interprete o modelo de um modo directo, sem ambiguidades. O Arquitecto parte de um modelo de representação fiel do terreno, podendo implantar o edifício de uma forma mais fiel ao terreno existente.

## **2.2 – Métodos de fabrico**

A construção tradicional apoiada em instrumentos como a régua e a bússola, levaram a que muitos Arquitectos desenhassem apenas aquilo que poderiam construir.

Com a introdução das tecnologias digitais este problema não se diluiu, no entanto, ganhou uma outra abordagem. Com os recursos digitais, a concepção e a fabricação passaram a pertencer ao mesmo suporte, o suporte digital. Neste sentido, a concepção passa a ter como principal condicionante inicial a questão da fabricação. Uma espécie de primeira premissa de viabilidade no resultado criativo, em que, o Arquitecto não desenha apenas aquilo que acredita ser capaz de construir, mas modela com a consciência de todas as implicações e condicionantes de materialização. O desafio criativo não se esgota na fase de projecto, estende-se até a fase de concepção. O Arquitecto é incumbido de criar o edifício, planejar as estratégias de concepção e coordenar a construção.

A maior barreira das tecnologias digitais reside actualmente na tendência para a expansividade económica. Comparativamente com os recursos tradicionais, o custo dos componentes de construção é tendencialmente superior. No que diz respeito à mão-de-obra, apesar de ser mais reduzida, o controlo das máquinas de fabricação, assim como, a montagem dos componentes requer mão-de-obra muito especializada. Esta desvantagem poderá constituir o preço a pagar por uma revolução na construção, preço este, que com o uso corrente destes recursos se tornará inevitavelmente mais acessível. Do mesmo modo, aumentará a oferta de mão-de-obra especializada sendo a imagem do tradicional “trolha” substituída por técnicos especializados em fabricação e montagem de componentes.

### **2.2.1 – Corte por CNC**

O corte por CNC é o recurso de fabricação digital mais corrente, nomeadamente na indústria metalúrgica. Este equipamento tem um funcionamento muito semelhante ao das impressoras comuns, tal como a impressora é capaz de desenhar uma qualquer forma numa folha de papel, esta máquina tem a capacidade de recortar um material plano com uma qualquer forma. Do ponto de vista técnico funciona com dois componentes principais, a cabeça de corte e o tabuleiro. O corte é feito pela deslocação da cabeça de corte ao longo do tabuleiro, ou então, pela deslocação do

tabuleiro em torno de uma cabeça de corte fixa. O corte por sua vez poderá ser a laser, plasma ou jacto de água (Imagem 34).



Imagem 34 – Máquina de corte 2D

Fonte: <http://schaublin-machines.com/pc/cnc-60-100.jpg>

O corte por laser utiliza um feixe de luz infravermelha de alta intensidade combinada com um jacto de alta pressão de dióxido carbono. Este feixe derrete o material, conseguindo-se deste modo um corte preciso e com um bom acabamento. O cortador a laser pode apenas ser utilizado em materiais que tenham a capacidade física de absorver a energia da luz.

O corte por plasma, por sua vez, utiliza um jacto de gás comprimido que ao ser aquecido a altas temperaturas chega ao estado de plasma. Durante o corte, o plasma transmite a temperatura para o material e volta novamente ao estado de gás.

O corte por jacto de água utiliza um compressor de alta potência que força a água misturada com pequenas partículas sólidas a passar por um pequeno orifício focado. (Kolarevic, 2003:34) Este sistema permite uma grande precisão de corte assim como uma maior diversidade de materiais passíveis de serem cortados. Apresenta também vantagens notáveis relativamente às espessuras de material que esta técnica permite cortar. Pegando no exemplo de Kolarevic (2003:34), o corte de jacto de água é capaz

de cortar uma peça de titânio com 38 cm de espessura, apresentando a relação custo/eficácia mais favorável.

### 2.2.2 – Moagem por CNC

O fabrico por subtracção é bastante semelhante ao sistema anteriormente descrito, tendo este sistema a particularidade de em vez de ser uma cabeça de corte que se desloca ao longo da mesa, é uma cabeça de moagem. Esta cabeça remove o material em excesso, abrindo a possibilidade de extrudir secções. Enquanto o sistema anterior permite cortar uma determinada forma, esta técnica permite extrudir a forma da base. Com formas mais complexas este sistema começa a mostrar algumas limitações, no entanto, existe a possibilidade de utilizar uma cabeça de moagem rotativa, o que permite materializar formas um pouco mais complexas que a mera extrusão de uma superfície (Imagem 35).

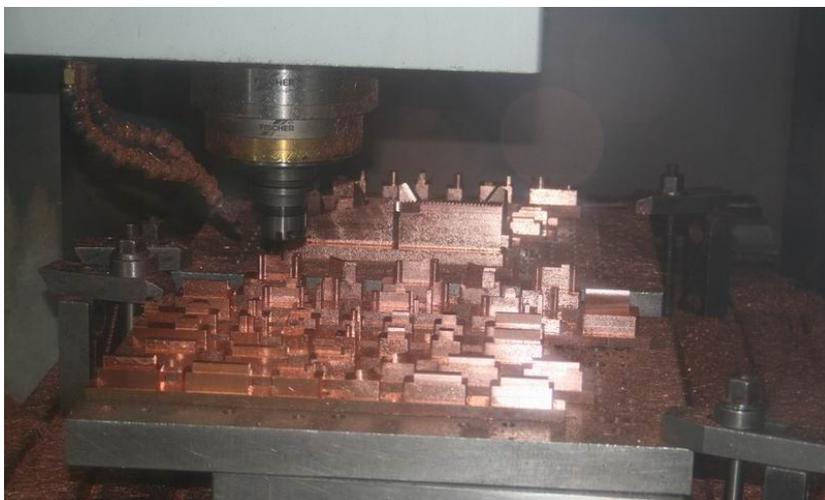


Imagem 35 – Fabrico por subtracção

Fonte: <http://www.sparkfun.com/tutorial/China/ChinaTrip>

A moagem poderá também ser feita recorrendo a processos químicos ou mecânicos como é mais corrente no caso da cabeça de moagem. O tamanho das brocas de moagem utilizadas dependem do grau de pormenor e acabamento desejado, sendo as maiores para um acabamento mais grosseiro e as mais finas para um melhor acabamento. A velocidade de rotação da broca depende das propriedades

de ductilidade do material a ser moído. A moagem por CNC é um processo de fabricação utilizado correntemente pela indústria metalúrgica na fabricação de variadíssimos componentes de maquinaria. Segundo Branko Kolarevic (2003:35), no início de 1970 no Reino Unido fizeram-se as primeiras experiências na aplicação desta técnica à produção de modelos arquitectónicos levadas a cabo por vários gabinetes como os Skidmore, Owings e Merrilts.

Tratando-se de uma técnica, consistentemente enraizada na indústria metalúrgica, faz com que seja provavelmente um dos sistemas mais acessíveis ao comum gabinete de Arquitectura. A recente utilização desta técnica nas obras para a conclusão da Sagrada Família em Barcelona, fazem com que seja feito um paralelismo bastante curioso entre o passado e o presente. O artesão que no passado esculpia as pedras seguindo os desenhos minuciosos de Gaudí, foram substituídos por técnicos especializados em modelação digital, que fazem o mesmo que o artesão fizera com o seu cinzel, mas desta vez, com uma precisão matemática. O modelo digital coordena o movimento da cabeça de moagem de forma a que a pedra se transforme numa réplica exacta do modelo digital. Curiosamente, os dois resultados não são muito diferentes, o acréscimo de rigor tende a passar despercebido, no entanto, o ganho de tempo constitui a grande conquista desta tecnologia.

Apesar de actualmente o trabalho de cantaria já não se justificar na produção arquitectónica, este exemplo permite demonstrar a versatilidade deste recurso tecnológico, e mais uma vez, a sua viabilidade, sendo neste caso concreto mais viável utilizar as máquinas de moagem, do que contratar uma vasta equipa de escultores.

### **2.2.3 – LOM**

O processo fabricação de objectos laminados (LOM) consiste na sobreposição de várias camadas de folhas cortadas a laser. Esta máquina contém um rolo de papel semelhante ao utilizado pelas plotters comuns, rolo este que é desenrolado e cortado por um feixe laser. A sucessão das secções, camada após camada, vai formando o

objecto tridimensionalmente. O papel utilizado vem preparado com cola termoplástica na superfície inferior, após o corte de cada camada, a máquina comprime a última folha aquecendo-a para que cole à anterior. Este sistema não remove o excesso do corte, o que é para eliminar, a máquina corta em triângulos para que seja fácil retirar o que não pertence ao modelo. Por outras palavras, no fim da sobreposição de todas as camadas, resulta um volume cúbico que contém no seu interior o modelo fabricado, nesta fase parte-se para a remoção de pequenos elementos que não pertencem ao objecto fabricado. No final do processo o objecto poderá ser tratado de forma a ter um melhor acabamento e rigidez. (Furtado, 2009:68)

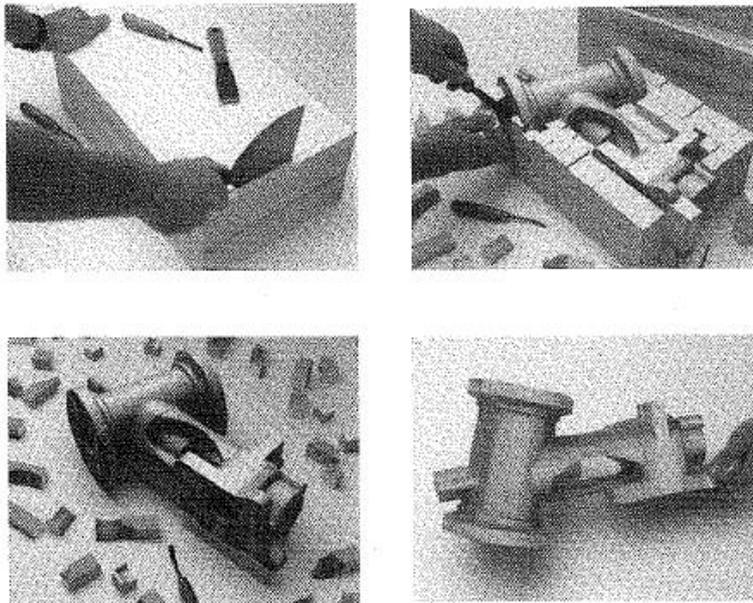


Imagem 36 – Fabrico por adição

Fonte: Protoclick.pdf

Existem ainda outros sistemas que funcionam utilizando o mesmo princípio aditivo. O sistema de Sintetização Selectiva a Laser (SLS), em que um raio laser derrete as sucessivas camadas de pó metálico, solidificando-o e criando deste modo os objectos. Enquanto no sistema LOM, o resultado final é um objecto inserido dentro de um sólido regular, em que o usuário tem que remover o excesso, no sistema SLS o produto final constitui o único elemento sólido, sendo o excesso apenas pó metálico, passível de ser reutilizado. No processo de Modelação por

Depósito Fundido (FDM), pode dizer-se que funciona de forma oposta ao sistema SLS, em que cada secção é conseguida por solidificação do material por acção de refrigeração, sendo o resultado muito semelhante ao sistema SLS. O fabrico por Multi-jacto (MJM), tem um funcionamento bastante distinto dos anteriores, funciona com uma cabeça que deposita cera derretida em finas camadas, o modelo tridimensional surge da sucessão destas camadas.

Segundo Branko Kolarevic (2003:37), “ (...) um novo sistema patenteado por Behrokh Khoshnevis, da Universidade do Sul da Califórnia, permite a fabricação de camadas de um modo bastante rápido e com pormenorizado acabamento, combinando a fabricação por extrusão de modo a formar o reservatório, e preenchendo em seguida o espaço vazio por injeção. Este processo foi utilizado para moldar materiais fluidos como a argila ou o gesso. Estes últimos são utilizados correntemente para modelar o exterior de cada secção de uma determinada camada, formando moldes passíveis de serem preenchidos por betão, ou qualquer outro material de enchimento.” Este sistema poderá ser uma resposta às limitações da aplicação desta tecnologia no contexto arquitectónico, atacando directamente a problemática da realização de cofragens em situações de geometrias complexas. O Betão é um material com uma enorme plasticidade, no entanto, esta característica apenas poderá ser explorada ao limite se existir tecnologia que permita moldar o betão numa qualquer forma. Neste sentido, as tradicionais cofragens poderão ser substituídas por moldes em argila ou gesso, possibilitando assim que a complexidade geométrica deixe de ser um condicionante na construção.

#### **2.2.4 – Fabrico por deformação**

O fabrico por deformação constitui uma técnica bastante vulgar na indústria metalúrgica, o princípio geral é o de aplicar acção mecânica de forças e calor, de forma a deformar o objecto, aproximando-o da forma desejada. Na indústria aeronáutica, por exemplo, as chapas que constituem a fuselagem dos aviões são

cortadas por CNC e em seguida são submetidas a forças mecânicas que em conjunto com a aplicação de calor fazem com que as placas metálicas adquiram o formato desejado (Kolarevic, 2003:38).

A aplicação desta tecnologia depende directamente das propriedades físicas do material a ser moldado, o material em causa terá que possuir elasticidade suficiente para ser submetido a tensões mecânicas, assim como, de se fundir a temperaturas que sejam viáveis tecnicamente.

O Fabrico por deformação apresenta grandes vantagens principalmente na manufactura de estruturas tubulares, permitindo deste modo que a estrutura tenha menos soldas uma vez que poderá ser fabricada por módulos de maiores dimensões. Este sistema poderá ser potenciado como um complemento ao corte por CNC, abrindo a possibilidade de, por exemplo, fazer com que umas chapas metálicas adquiram uma determinada curvatura.

A aplicação desta tecnologia em curvaturas NURBS continua a constituir um desafio económico, sendo por vezes simplificadas em curvaturas “uniformes” como forma de viabilizar economicamente a fabricação de curvaturas complexas.

As técnicas de fabricação digital constituem uma panóplia de instrumentos, que podem ser usados individualmente, ou até mesmo combinados. Desta forma o arquitecto tem ao seu dispor um conjunto de ferramentas que lhe potenciam a materialização de uma qualquer geometria, independentemente da sua complexidade. Neste sentido as tecnologias de Fabricação Digital, constituem um estímulo para a criatividade do Arquitecto, passando a poder usufruir de novas viabilidades formais e estéticas.

### **2.3 – Materialização de superfícies**

Os processos e técnicas de fabricação digital têm como confluência comum a materialização das superfícies digitais. A superfície é a chave da potencialidade

das tecnologias digitais e da nova geração Arquitectónica. Com uma gama de linhas curvas cada vez mais diversificada, as superfícies curvas ganham uma complexidade geométrica nunca antes conseguida pelos recursos tradicionais. Como refere Kolarevic (2003:39), é a superfície, e não necessariamente a estrutura, que preocupa o trabalho digital de vanguarda na sua exploração de novos territórios formais.

Segundo Stephen Perrella (1998:7) no e-mail dirigido a Brian Massumi, a tendência da Arquitectura para a exploração da superfície, não se trata apenas de um gesto de experimentação dos recursos disponíveis. Segundo Perrella, o que se está a passar com a Arquitectura neste momento, é um reflexo cultural, em que os recursos digitais constituem actualmente uma parte muito significativa do nosso quotidiano. As tecnologias digitais são uma espécie de sistema auto-suficiente dada a sua globalidade de vertentes. Por exemplo, se surgir no mercado um novo sistema GPS, este sistema chega rapidamente ao conhecimento de todos pela internet, que é também um recurso digital. Este sistema faz com que as novas tecnologias sejam rapidamente assimiladas, acelerando assim, o desenvolvimento tecnológico. Voltando á perspectiva de Stephen Perrella, este contexto de êxtase digital, tem um crescimento uniforme em todas as áreas, e a Arquitectura não é uma excepção. Tanto o arquitecto é absorvido pelos novos recursos digitais, como o resultado final, a nova linguagem, é aceite com naturalidade pela população. Os recursos digitais de informação fazem com que se abram as mentalidades a novas experiências estéticas. Tal como um orador precisa de um auditório que compreenda o seu código, a Arquitectura digital precisa de um auditório que reconheça os novos códigos, e neste sentido, a Era Digital constitui um sistema de globalização nunca antes conseguido.

As geometrias complexas são a base da nova Arquitectura, provavelmente por serem controladas com tanta facilidade como eram os volumes puros utilizados frequentemente com os recursos tradicionais. Esta nova vertente de exploração lança a Arquitectura para a exploração das superfícies, inclusive, as superfícies NURBS.

A estrutura deixa de ter um papel preponderante no desenvolvimento do projecto, passando à superfície a tarefa de sustentação, surgem assim os edifícios

envelope, como são vulgarmente conhecidos. Esta nova abordagem arquitectónica, leva a uma busca por novos materiais, como as espumas, plásticos, borrachas e compósitos. A superfície passa de um mero revestimento, para constituir uma parte significativa do edifício. Os edifícios *envelope* incorporam na superfície, não apenas a sustentabilidade estrutural, mas também as redes e infra-estruturas.



Imagem 37 – Fresh H2O (1997), Holanda, Nox Architects

Fonte: PERRELLA, S. (1998:51). *Hypersurfaces Architecture*. London: Maggie Toy

O projecto Fresh H2O dos Nox Architects (in Perella, 1998:50) (Imagem 37), mostra claramente a importância que foi atribuída à “pele” do edifício no desenvolvimento do projecto. A geometria escolhida para delimitar o interior do espaço do pavilhão constitui a totalidade do edifício, contendo o revestimento, estrutura, redes, instalações e equipamentos. Este projecto apresenta ainda outra característica de especial relevância para o estudo dos edifícios *envelope*, o pavimento foi trabalhado também como uma superfície, que dá continuidade à volumetria, ou seja, existe uma única superfície equivalente aos elementos: pavimento, paredes e cobertura da Arquitectura tradicional.



Imagem 38 – Georges Restaurant, 2000

Fonte: [http://www.floornature.com/worldaround/img\\_magazine/wr29\\_3\\_popup.jpg](http://www.floornature.com/worldaround/img_magazine/wr29_3_popup.jpg)

Os edifícios envelope são também vulgarmente utilizados a uma escala mais pequena como acontece por exemplo no Georges Restaurant (2000) (Imagem 38) no Centro de Pompidou em Paris. Neste contexto o espaço envolvido por uma superfície surge como uma tendência decorativa de carácter vanguardista. Este facto prova que, por um lado, há aceitação da nova estética, e por outro, a disseminação das novas tecnologias a gabinetes mais reduzidos como foi neste caso o de Jacob MacFarlane.

Tal como refere Kolarevic (2003:41), as implicações destas peles estruturais são significativas porque significam um afastamento radical das ideias Modernistas. Corbusier com a casa Dominó lançou a história da Arquitectura no sentido do Modernismo, ao introduzir a autonomia da parede em relação à estrutura. Com os edifícios *envelope*, assiste-se ao movimento oposto, a matéria que constitui as fachadas dos edifício volta a ser estruturais, mas desta vez, o carácter estrutural não implica uma perda de liberdade geométrica.

Perrella (1997:7) no e-mail a Brian Massumi interpreta este desenvolvimento da História da Arquitectura de um modo mais global que Kolarevic. Para Perrella, as roturas que se verificam na Arquitectura, sempre foram um reflexo de uma sociedade em evolução. Kolarevic, tendencialmente, refere-se às tecnologias disponíveis como se estivessem num patamar mais avançado em relação à sociedade, sendo feito um

processo de assimilação pela parte da sociedade, no sentido de assimilar os novos avanços. Perrella, por sua vez, encara tanto a viragem para o Modernismo por Le Corbusier, como a revolução Digital, num contexto evolutivo da sociedade. Um sistema sincronizado em que uma nova Arquitectura surge para dar resposta a novos pressupostos e a uma nova mentalidade.

As novas expressões arquitectónicas levantam cada vez mais questões construtivas, sendo indispensável ao arquitecto adoptar desde o início do projecto, uma estratégia de materialização. Ao contrário do que acontece no design, a escala dos projectos a desenvolver não permite que estes sejam realizados tal como são criados. No design industrial, objectos de pequena escala podem ser fabricados de uma só vez, a forma pode ser contínua até mesmo na sua concepção. O mesmo já não acontece com os projectos de Arquitectura, em que as formas geradas digitalmente têm de ser ponderadas, relativamente à construção em escala real. A criação de mega estruturas implica que o processo criativo conte com a problemática adicional da estratégia de produção.

### **2.3.1 – Estratégias de produção**

A materialização de geometrias complexas, nomeadamente, superfícies curvas, implica que seja estabelecida à priori uma estratégia de construção. Como refere Lisa Iwamoto em *Digital Fabrications* (2009), os softwares de modelação possuem uma vasta gama de modificadores que permitem converter o modelo gerado, num modelo passível de ser materializado. Para Kolarevic (2003:43), o desafio é escolher uma aproximação geométrica adequada que preserve as qualidades essenciais da primeira forma tridimensional. Estas escolhas estão directamente relacionadas com as opções e decisões em que o projecto se apoia.

Os quatro modificadores que se seguem dizem respeito às ferramentas que, tal como foi descrito, fazem a transição do modelo digital para o modelo a ser construído. Os quatro modificadores, por sua vez, foram desenvolvidos tendo em conta o potencial das maquinarias disponíveis, sendo a sua sofisticação no sentido de

tirar o maior partido dos recursos tecnológicos existentes, estimulando a criatividade do usuário.

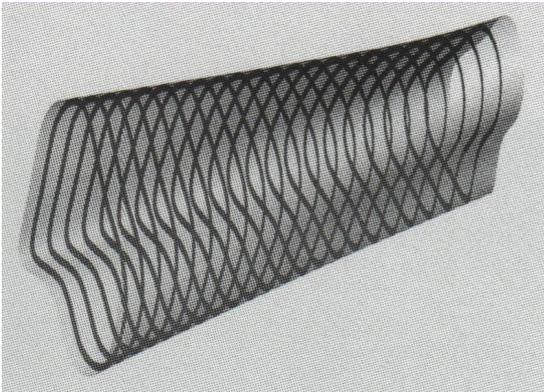


Imagem 39 – Aplicação do comando Section no Rhino

Fonte: IWAMOTO, I.. (2007). *Digital Fabrication – Architectural and Material Techniques*. New York: Princeton

O comando “Section” é uma ferramenta com grande potencial quando o caminho escolhido é o de criar uma armação estrutural que define a geometria criada. Este comando permite pegar numa qualquer geometria, independentemente da sua complexidade, e secciona-la em qualquer direcção. (Iwamoto, 2009:11)

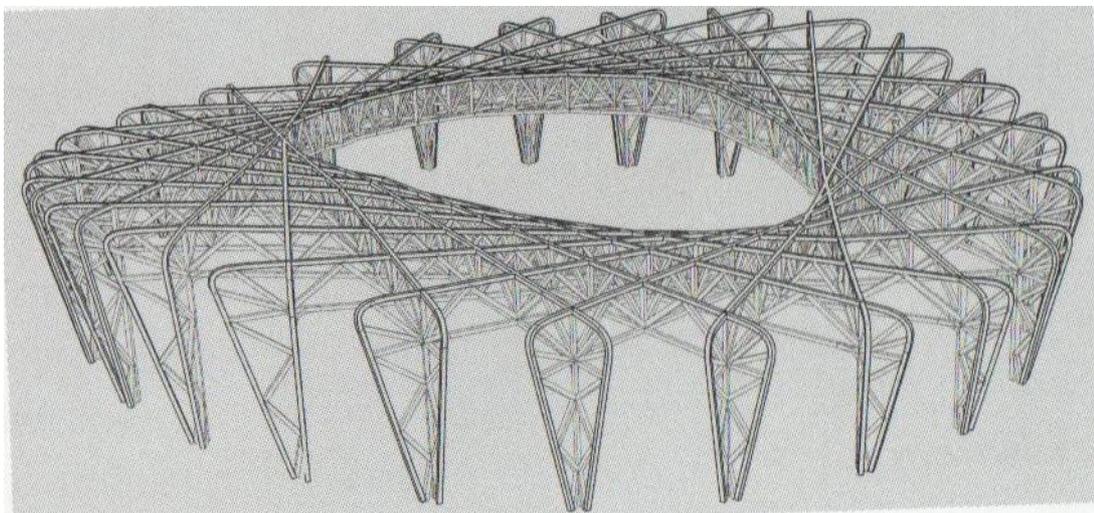


Imagem 40 – Imagem estrutural do Estádio Olímpico (2008), China, Herzog & Meuron

Fonte: IWAMOTO, L. (2007). *Digital Fabrication – Architectural and Material Techniques*. New York: Princeton Architectural Press

Um exemplo bastante recente da aplicação deste comando é o caso do Estádio Olímpico do arquitecto Herzog & Meuron (Imagem 40), numa primeira fase, foi modelado a forma geral do estádio, com as respectivas deformações, numa segunda fase, o modelo digital foi seccionado, respeitando uma determinada geometria e cada secção, foi convertida em tramos estruturais. Estes tramos estruturais, com dimensões e ângulos distintos, foram facilmente fabricados por máquinas de corte bidimensional. (Iwamoto, 2009:15)

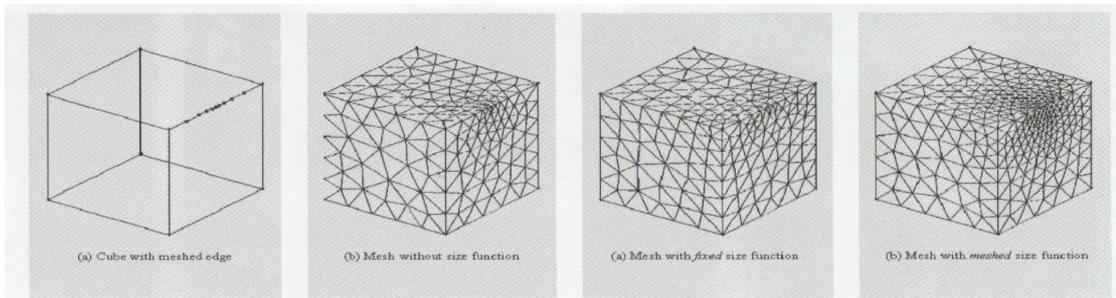


Imagem 41 – Study of a cube (2007), Peter Macapia

Fonte: IWAMOTO, L. (2007). Digital Fabrication – Architectural and Material Techniques. New York: Princeton Architectural Press

O comando “Tessellat” permite desmultiplicar uma qualquer superfície em formas geométricas planas. Este comando decompõe as curvaturas em triângulos, podendo o usuário aproximar-se da forma curva pelo aumento do número de figuras planas (imagem 41). O computador gera um sistema geométrico, cuja repetição preenche na totalidade a superfície sem deixar espaços vazios. O “Tessellating” pode ser aplicado em qualquer superfície, tanto a formas planas como a superfícies NURBS, a configuração da malha resultante, pode ainda ser parametrizada. (Barata, 2007:193)



Imagem 42 – Helios House (2006), Los Angeles, Johnston Marklee & Associates

Fonte: IWAMOTO, L. (2007). Digital Fabrication – Architectural and Material Techniques. New York: Princeton Architectural Press

No Helios House, Johnston Marklee (in Iwamoto, 2009:51) aplicou o comando “Tessellating” (Imagem 42) para converter a geometria em peças triangulares planas. Neste caso concreto, a reticula de painéis triangulares foram facilmente cortados por máquinas de corte bidimensional, sem que o uso de elementos planos pusesse em causa a fluidez da forma. Esta técnica é das mais comuns na exploração das possibilidades de fabricação assistida, em parte pela facilidade da sua aplicação, neste caso concreto o comando “Tessellating” faz quase tudo automaticamente, desde a planificação das peças que constituem o modelo, como a respectiva legendagem e informação de montagem.

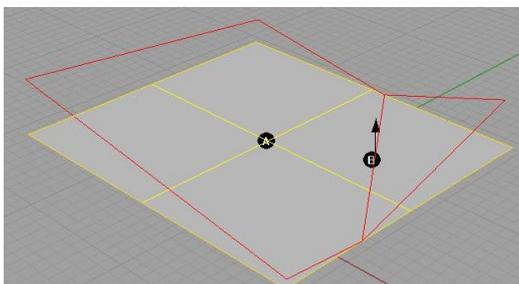


Imagem 43 – Aplicação do comando FoldFace

Fonte: Imagem gerada no Rhino

O comando Fold (imagem 43) permite inserir dobras numa superfície plana, esta operação faz com que se passe de uma superfície bidimensional para uma tridimensional. Tal como acontece quando dobramos uma folha de papel, a dobra ganha um carácter estrutural, aumentando consideravelmente a resistência da folha. Este facto representa um enorme potencial no contexto arquitectónico, a superfície pode ser pensada já na sua génese em termos estruturais, pela adição de dobras.(McNeel, 2002: 68(2))



Imagem 44 – Terminal Internacional de Yokohama (2002), Japão, FOA

Fonte: IWAMOTO, L. (2007). Digital Fabrication – Architectural and Material Techniques. New York: Princeton Architectural Press

O Terminal de Yokohama, dos FOA (in Iwamoto, 2009:63) é um exemplo bastante elucidativo da aplicação do comando Fold, o exterior do terminal faz lembrar uma grande folha vincada, uma geometria ritmada que articula a estrutura do edifício. Neste caso específico, o comportamento estrutural de uma folha vincada, é transportado para o betão na base do edifício, em que as várias nervuras fazem com que a estrutura adquira uma maior rigidez, ao mesmo tempo que compõem a coerência de todo o conjunto.(Imagem 44).

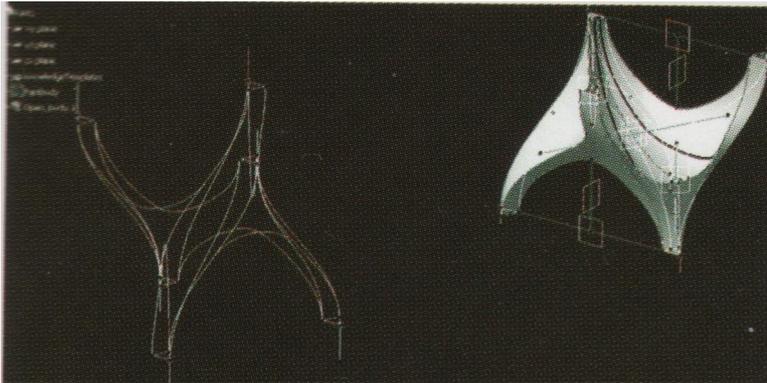


Imagem 45 – Aplicação do comando Contour

Fonte: IWAMOTO, L. (2007). Digital Fabrication – Architectural and Material Techniques. New York: Princeton Architectural Press

O comando Contour (Imagem 45) pode ser usado quando o computador está ligado a uma máquina de prototipagem rápida. Este comando permite que o computador reconheça o contorno tridimensional do objecto e o reproduza num modelo de prototipagem. O modelo é esculpido por moagem, sendo retiradas camadas sucessivas de material num processo substractivo. (McNeel, 2002:68(2))



Imagem 46 – Bone wall (2006), Urban A&O

Fonte: IWAMOTO, L. (2007). Digital Fabrication – Architectural and Material Techniques. New York: Princeton Architectural Press

Segundo Lisa Iwamoto (2009:94) A Bone Wall (2006) (Imagem 46) foi uma experiência inspirada no trabalho do escultor Erwin Hauer, bastante exemplificativa do potencial deste comando. Após a geração das várias células que constituem a parede, com a aplicação do comando *contour* a cada uma das células, a máquina CNC de cinco eixos foi capaz de reconhecer a informação e fabricar cada uma das células em MDF.

O comando “*Section*” e *Tessellat*” são os mais utilizados no contexto arquitectónico. No seccionamento, a produção automática de cortes bidimensionais paralelos entre si com intervalos regulares, facilita bastante na introdução da estrutura do edifício. Segundo Kolarevic (2003:43), este comando foi inspirado no “*lofting*”, um processo utilizado na construção naval, em que, a forma do navio é definida por uma sequência de secções transversais ligadas por uma secção longitudinal.

Kolarevic (2003:43) afirma também que Frank Gehry utilizou um software chamado *Bocad* em Bilbao, este software gerou automaticamente um modelo estrutural em aço, incluindo a estrutura secundária. O programa foi ainda utilizado na fase de fabricação e pré-montagem dos componentes. O surgimento destes softwares deve-se a uma sofisticação do comando “*section*”, aliado a uma tentativa de responder às necessidades inerentes ao desenho de uma estrutura metálica. Segundo o autor, este sistema foi ainda repetido no Walt Disney Concert Hall (Imagem 47).



Imagem 47 – Walt Disney Concert Hall (2003), Frank Gehry

Fonte: [http://www.earchitect.co.uk/los\\_angeles/jpgs/walt\\_disney\\_concert\\_hall\\_sg020808.jpg](http://www.earchitect.co.uk/los_angeles/jpgs/walt_disney_concert_hall_sg020808.jpg)

O comando “Tesslat” constitui uma solução bastante viável quando se trata de edifícios “envelope”. Quando o material escolhido não pode ser moldado, este comando simplifica as superfícies em planos geralmente triangulares desdobrados em tiras. Segundo o autor, a Opera House de Sydney (1973) foi um dos primeiros exemplos da aplicação deste método (Imagem 48).



Imagem 48 – Opera House (1973),

Fonte: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/08/Sydney\\_Opera\\_House\\_Sails\\_edit02.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/08/Sydney_Opera_House_Sails_edit02.jpg)

A decomposição das curvaturas em figuras planas, quando feita por uma reticula de planos triangulares de pequenas dimensões, não põe em causa a fluidez das formas curvas, sendo quase imperceptível esta simplificação geométrica. Neste sentido, o arquitecto pode jogar com o tamanho dos painéis, a fim de geometrizar mais ou menos a curva.

Segundo B. Kolarevic (2003:9), esta técnica foi ainda utilizada no DG Bank, 2001, em Berlim, por Frank Gehry (Imagem 49). No entanto, aplicada de uma forma diferente, desta vez o objectivo não foi o de modelar uma superfície para parecer uma curva, mas sim, uma malha estrutural onde foram colocados 1500 vidros triangulares, cortados por CNC. Neste projecto, nenhum dos painéis de vidro é igual, dada a geometria da superfície envidraçada, cada vidro pode apenas ser colocado no respectivo local.



Imagem 49 – DG Bank (2001), Berlim, Frank Gehry

Fonte: [http://farm3.static.flickr.com/2045/2095667333\\_f4592f53d4.jpg](http://farm3.static.flickr.com/2045/2095667333_f4592f53d4.jpg)

No universo da fabricação digitalmente assistida, o momento de ponderação que antecede a fabricação não se resume à escolha de uma estratégia de fabricação, o arquitecto não pode descurar o factor económico. Uma geometria complexa pode ser materializada de diversas formas diferentes, como foi concluído anteriormente, uma geometria pode ser desmultiplicada, por exemplo, pelo comando “tessellation”, em planos cujas dimensões podem variar em função da parametrização aplicada. Peças mais pequenas podem resultar numa curvatura mais contínua, no entanto, o aumento do número de peças, implica a utilização de uma malha estrutural mais densa, o que leva a um aumento de custos. Neste sentido o arquitecto terá que tirar partido da exactidão que os recursos digitais oferecem, no que diz respeito ao cálculo de orçamentos, e encontrar o “ponto de bom senso” em que a materialização das superfícies corresponda às expectativas, e o preço seja praticável dentro do orçamento proposto.

Existe ainda outro método de simplificação de superfícies complexas, como as superfícies NURBS, este método consiste em converter a superfície em várias superfícies simples, decompondo deste modo a superfície em curvaturas racionais e superfícies planas. Em situações de curvatura dupla, a transição entre as duas curvaturas é feita por uma linha recta, deste modo, faz-se uma aproximação à superfície NURBS, por elementos regulares. Citando o autor Branko Kolarevic

(2003:46), “(..) o escritório de Frank Gehry depende das curvas “arredondadas”, o que faz com que a exequibilidade das suas obras esteja sempre garantida caso as limitações orçamentais constituam um risco para o projecto.” Os recursos digitais permitem que haja sempre uma alternativa, existe sempre o ideal e a aproximação ao ideal, aproximação esta, que pode ser parametrizada. Neste sentido, existe sempre uma solução que se adapta ao contexto económico de cada intervenção. As torres Zollhof (2000), são um bom exemplo desta “aproximação ao ideal” feita por Frank Gehry, em que aspecto de uma geometria complexa é conseguido pela simplificação/decomposição em elementos geométricos regulares (Imagem 50).



Imagem 50 – Torres Zollhof (2000), Alemanha, Frank Gehry

Fonte: <http://img505.imageshack.us/img505/7434/214f47dcxz7.jpg>

O criação de novas estratégias de construção, desencadeadas pela exploração de novas geometrias, leva a que, paralelamente às novas técnicas construtivas, haja uma investigação no sentido de criar materiais que respondam melhor às novas necessidades construtivas.

### 2.3.2 – Nova materialidade

O interesse por novas materialidades surge da impossibilidade de utilizar materiais tradicionais na construção assistida digitalmente. Segundo Kolarevic (2003:49) o trabalho de Van Egeraafs revela um esforço, um esforço notável no sentido de se adaptar à linguagem das novas tecnologias, só que recorrendo sempre a

materiais e técnicas construtivas tradicionais, como acontece no Crawold Municipal Art Galery (Imagem 51).



Imagem 51 – Crawold Municipal Art Galery (2000), Van Egeraafs

Fonte: [http://farm1.static.flickr.com/41/114879451\\_0ec8ab1e27.jpg?v=0](http://farm1.static.flickr.com/41/114879451_0ec8ab1e27.jpg?v=0)

O esforço de Van Egeraafs não deixa de revelar algum interesse no âmbito da pesquisa de novas estéticas, recorrendo a materiais tradicionais, como acontece neste caso, com a alvenaria de tijolo. Do ponto de vista da exploração dos recursos digitais e os meios de fabricação, este projecto poderá acusar alguma resistência à mudança, como já foi constatado no passado, o desenvolvimento de novas técnicas construtivas, implica sempre o desenvolvimento de novos materiais.

A busca por novos materiais centra-se maioritariamente na questão da plasticidade, sendo a superfície o elemento introduzido pela revolução digital, a investigação centra-se no desenvolvimento de materiais que possam constituir superfícies com vários tipos de características específicas. Por exemplo, o revestimento do Museu Guggenheim em Bilbao conseguiu responder as exigências estruturais, essencialmente pela leveza do material utilizado. A leveza conseguida pelas finas folhas de titânio, permitiu também, que as superfícies construídas não perdessem a complexidade das curvaturas projectadas.

Neste sentido poder-se-á afirmar que a superfície está a marcar uma época de viragem, tal como Le Corbusier fez ao introduzir a planta livre na Arquitectura. No tempo de Corbusier, as paredes estruturais constituíam uma limitação para a

criatividade do arquitecto. Com a separação parede-estrutura, Le Corbusier conseguiu fazer com que a parede fosse um elemento totalmente autónomo, e desta forma, o Arquitecto passou a dispor de um leque infinito de opções. Os projectos de Le Corbusier mostram isto mesmo, uma exaltação provocada pela libertação das paredes estruturais, a parede passa a ser vista como uma mera superfície de separação entre compartimentos.

Actualmente, verifica-se algo bastante semelhante, embora de um modo oposto, isto é, se antes da viragem para o Modernismo as paredes portantes eram um elemento pouco flexível no desenvolvimento do projecto, com as novas tecnologias, as paredes, ou mais propriamente a superfície, enquanto elemento que separa o interior do exterior, ou até, a superfície que envolve o espaço interior, pode actualmente ter qualquer geometria, sem que por esse motivo perca as suas características estruturais. Prova disto é o projecto dos NOX no Fresh Water Pavilion, em que a superfície que envolve o espaço interior contém: revestimentos, estrutura, redes e instalações.

A modernização dos materiais de construção não implica que os materiais tradicionais sejam postos de lado. No caso do betão, existe um enorme potencial ao nível da sua plasticidade, contudo, tem o problema do peso. Neste caso, não se põe a questão de substituir o material, mas sim de o modernizar. O aço usado para armar o betão pode ser substituído por uma rede de fibra de carbono, podendo assim adquirir maior leveza e maior resistência. Kolarevic (2003:48) acredita mesmo que as fibras de carbono poderão tornar-se o material do século XXI, segundo o mesmo, a criação de nanotubos de carbono, ou seja, átomos de carbono que com um catalisador poderão adquirir a escala nano métrica. A resistência adquirida torna-se muito superior à do aço, podendo um único nanotubo suportar um bilião e vezes o seu próprio peso.

A aplicação corrente deste material poderá traduzir-se numa prática quase sem limitações técnicas, as estruturas poderão ser cada vez mais esbeltas e mais arrojadadas do ponto de vista dos esforços solicitados.

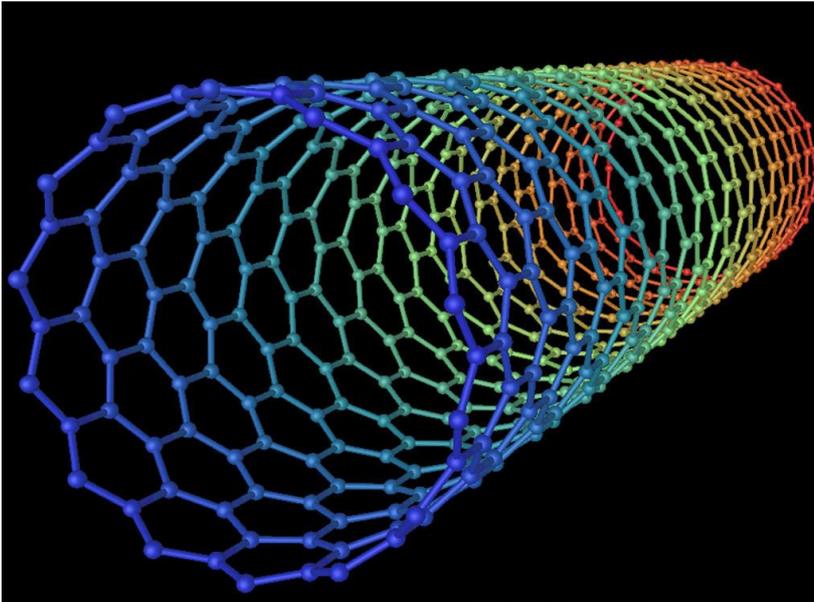


Imagem 52 – Nanotubo de Carbono

Fonte: <http://www.ecuadorciencia.org/images/nanotecnologia/nanotubo-carbono2.jpg>

Os nanotubos de carbono (Imagem 52) não são ainda uma realidade viável economicamente, no entanto, existe já a fibra de vidro, polímeros e espumas que oferecem melhoramentos significativos em relação ao aço e a um preço viável. A fibra de vidro é utilizada correntemente para o endurecimento de pavimentos, com a substituição da tradicional rede metálica pela fibra de vidro, aplicada em rede ou em pó, é possível fazer um pavimento com uma altura inferior de enchimento. Neste caso, a fibra de vidro torna-se uma solução mais económica que o método tradicional.

A fibra de vidro, em pó ou em estado líquido, oferece a possibilidade de se misturar com o cimento e adaptar-se a qualquer forma. No caso de uma geometria complexa, o betão pode ser enformado com a fibra de vidro misturada sem que os operários percam tempo a montar um esqueleto em aço para ser introduzido dentro do molde.

O exemplo anterior prova que nem sempre a aplicação de novos materiais se traduz num encarecimento da obra, no entanto, o aperfeiçoamento dos materiais leva a uma optimização económica.

A capacidade de determinados materiais serem manipulados em estado líquido, como é o caso do betão com armação de fibra de vidro, constituem um avanço significativo para a fabricação digital. As exigências atribuídas aos materiais podem ser cada vez mais ambiciosas. No caso dos materiais compósitos, o material para além de responder às características de resistência e forma inerente ao projecto, poderá igualmente responder a critérios mais específicos de desempenho. Estes critérios podem ainda variar ao longo do desenvolvimento do edifício. Por exemplo, um edifício não necessita da mesma resistência na base e no topo, o material poderá ser mais resistente na base e mais dúctil no topo. Se pensarmos nas questões energéticas, os materiais compósitos poderão ser absolutamente revolucionários para a Arquitectura. Um edifício exposto às quatro frentes solares, poderá apresentar um desempenho diferente em função da exposição de cada fachada, ou mesmo reagir aos estímulos atmosféricos, reacção esta, que poderá ser distinta nas várias partes constituintes do edifício.

Estes materiais abrem um número ilimitado de novas possibilidades e viabilidades, o que se reflecte num impacto significativo no pensamento arquitectónico, como refere Marcos Cruz (2009:19),

*“(...)Há arquitectos que começam a fazer desenhos, já não à escala 1:100, mas 100:1. É uma escala que não é visitável, tendo em conta que hoje em dia muitos materiais são trabalhados a uma escala molecular onde a composição química e biológica é a que determina o tipo de material que vai ser utilizado.”*

De facto, o potencial dos materiais compósitos poderá fazer com que metade do projecto seja a criação do material que o constitui, e num futuro mais distante, poderá fazer da prática da Arquitectura uma actividade cada vez mais transdisciplinar, partilhada com Físicos, Químicos e Biólogos.

O desenvolvimento dos materiais compósitos poderá levar cada vez mais a uma aproximação dos organismos vivos. Tal como a nossa pele contém poros que dilatam ou contraem em função das exigências térmicas, a superfície que envolve os espaços desta nova era Digital pode também conter a quarta dimensão, ou seja, a variação ao longo do tempo.



Imagem 53 – Aegis Hyposurface (1999), Mark Goulthorpe

Fonte: [http://nait5.files.wordpress.com/2008/10/flow50\\_hand-studio-roosegaarde.jpg](http://nait5.files.wordpress.com/2008/10/flow50_hand-studio-roosegaarde.jpg)

Segundo Burry (2003:19) no projecto Aegis Hyposurface, Mark Goulthorpe (Imagem 53) desenvolveu uma peça que inicialmente teria apenas como objectivo interagir com as pessoas que passam no foyer do Birmingham Hippodrome Theater, mas o resultado foi um pouco mais além, Mark Goulthorpe construiu uma superfície metálica, articulada, cuja forma se vai alterando, assim como a transparência da forma, como reacção a estímulos ao movimento e à luz. Este projecto foi um pouco mais além daquilo que se propunha inicialmente, na medida em que, se pode falar de um material compósito “neural”, ou seja, possuindo “inteligência” na sua composição.

Esta experiência poderá ter um impacto significativo no desenvolvimento de novos materiais, uma vez que prova a viabilidade da agregação de sensores e actuadores de controlo computacional incorporados nas camadas constituintes dos materiais compósitos. Estas experiências, aproximam cada vez mais, a criação de dispositivos mecânicos dos organismos vivos, entrando-se já no estudo da Biônica, ou seja, um esforço no sentido de transportar para as invenções humanas, a perfeição dos organismos vivos.

Actualmente dão-se os primeiros passos no sentido da modernização dos materiais em resposta às novas tecnologias, sendo estas investigações conduzidas em contextos específicos, como tentativa de resposta a um determinado projecto.

Contudo, a modernização dos materiais de construção conduz a outro problema ao qual a construção civil terá que se adaptar. A escala das construções obriga a que o projecto seja materializado por componentes pré-fabricados, e a fase de montagem, por sua vez, obriga a toda uma série de novas exigências, às quais a mão-de-obra tradicional não consegue dar resposta.

### **2.3.3 – Montagem de componentes**

O suporte de papel desempenha uma função preponderante na construção tradicional, é através dos desenhos 2D que é estabelecida a comunicação entre o projecto e o estaleiro de obra. Com as novas exigências e complexidades inerentes à construção de geometrias complexas, materializadas através de componentes construtivos cada vez mais sofisticados, as tradicionais plantas, cortes e alçados tornam-se obsoletos.

À semelhança do que foi constatado anteriormente, os processos de fabricação de componentes baseiam-se directamente no modelo digital, do mesmo modo, existem processos de montagem que se apoiam directamente no modelo digital. Deste modo, deixa de haver síntese de informação tal como acontece nas plantas tradicionais, reduzindo-se também as probabilidades de erro, uma vez que já não se trata de uma interpretação da planta pelo operário, mas sim de uma leitura matemática, de máquina para máquina.

O museu Guggenheim (in Kolarevic, 2009:31) constitui um exemplo marcante na aplicação deste tipo de tecnologia, a construção foi executada sem uma única medição. O projecto foi desenvolvido num software CATIA, este programa permitiu catalogar todos os componentes que constituem o projecto e atribuir-lhes um código. Os operários tinham apenas que introduzir o código na base de dados e o computador indicava as coordenadas exactas da colocação do componente.

O próximo passo passa pela automação do processo de montagem, existem já algumas empresas a especializarem-se neste sentido, segundo o mesmo autor (2003:38), a empresa Japonesa Shimizu está a desenvolver um sistema denominado por SMART, em que se desenvolvem robôs capazes de operar num projecto em grande escala, com a capacidade de colocar o componente na posição exacta e monta-lo de acordo com o modelo digital.

Num futuro distante, em que este sistema substitua definitivamente os processos actuais de construção, poder-se-á assistir finalmente à prática da Arquitectura através de um único suporte. Tal como aconteceu no museu de Bilbao, o suporte digital serviu para gerar o projecto, adaptá-lo à fase de fabricação e produzir informação para a fase de montagem dos componentes. Neste exemplo concreto, um único suporte, o digital, permitiu o decorrer de todo o processo sem que ocorressem erros. Tal como ainda acontece nos dias de hoje, quando os Arquitectos imprimem os seus ficheiros “PLT”, a plotter reconhece a informação numérica e imprime as plantas, cortes e alçados, do desenho digital. O ficheiro “PLT” leva a crer que está a evoluir no sentido de passar de uma síntese, a algo muito mais global, ou seja, passa de uma síntese de informação para constituir a totalidade do projecto, já com todas as especialidades e informação de execução. Analogamente, a plotter, por sua vez, parece estar a ser substituída pelos processos de fabricação e posteriormente, pelos recursos mecânicos de montagem dos componentes.

## **2.4 – Redefinições de produção**

A produção Industrial mantém ainda hoje, as ideias de Ford enraizadas. De facto, a produção em série permitiu durante muitos anos a produção de variadíssimos objectos a preços acessíveis, sem que o preço tivesse influência directa na qualidade, mas sim na quantidade de objectos produzidos.

Segundo B. Kolarevic (2003:52) a visão de Ford poderá estar em risco com a entrada da era Digital. De um modo geral, a produção em série baseia-se na criação de uma linha de produção, destinada a produzir um objecto em massa. O objecto

produzido será mais acessível quanto maior for a sua produção, pois com o aumento da produção o custo da linha de montagem dilui-se, mantendo-se constante apenas o custo de mão-de-obra e matéria-prima. A visão de Ford, resultou de tal modo, que é ainda hoje uma prática comum na maioria das indústrias, no entanto, poderá estar em risco de retroceder para algo próximo do movimento Arts and Crafts, mas desta vez com viabilidade económica.

A introdução das máquinas de CAM, ao contrario do que acontece numa linha de montagem, permite que o mesmo equipamento produza vários tipos de objectos distintos. Neste sentido, o tempo dispendido ao produzir objectos todos iguais ou objectos diferentes é o mesmo, deste modo, poderão ser produzidos objectos personalizados na mesma máquina sem que o preço de produção se altere.

A abertura de uma nova linha de produção sempre constituiu um desafio para as empresas. O investimento obriga a uma compensação traduzido num mínimo de produção, e caso esse mínimo não seja atingido, o investimento não é coberto pela produção. Este facto tornou-se um factor de inibição para a experimentação de novos produtos. Com as tecnologias CAM, além da possibilidade de desfrutarmos objectos personalizados, as empresas, por sua vez, estão mais receptivas à experimentação de novos produtos.

No contexto arquitectónico, os materiais utilizados na construção tradicional são de um modo geral, estandardizados, como por exemplo os tijolos, as vigas, caixilharias, entre outros... Com a modernização dos sistemas de produção, também estes poderão responder a contextos específicos de cada projecto. Tal como refere Kolarevic (2003:59) “(...) A customização em massa é um paradigma de produção particularmente adequado para a indústria da construção civil, assim como do fabrico dos componentes inerentes.” A redefinição das linhas produtivas projecta a Arquitectura, no sentido de uma total “customização” construtiva, tal como uma geometria complexa tem um carácter único, a técnica construtiva, os materiais e os componentes que constituem o edifício podem também ser únicos.

A perspectiva de Stephen Perrella(1998:112) visa um estudo social que contém o estudo particular da Arquitectura, esta abordagem faz com que a Era Digital seja compreendida de um modo Global, constituído por um sistema com várias vertentes, em que, cada vertente viabiliza a anterior. O contexto arquitectónico contém um fragmento deste “sistema”, na Arquitectura os novos recursos digitais desenvolvem-se em várias vertentes, sempre com o objectivo de sustentar a revolução Digital. As potencialidades da modelação digital seriam infrutíferas se não fosse possível materializá-las. Por sua vez, os processos de fabricação seriam despropositados, caso não existissem materiais capazes de dar resposta às novas exigências. O mesmo acontece com o papel desempenhado pelos recursos de montagem de componentes no estaleiro de obra que surgem como uma nova consciência no acto de projectar. Voltando novamente ao contexto sociocultural, de nada serviriam todos estes avanços se não vivêssemos num período de exaltação tecnológica, globalizada pelas mais variadas tecnologias de informação, onde o desenvolvimento surge como resposta de sustentação das novas necessidades socioculturais.

A aplicação das novas ferramentas projectuais, como qualquer ferramenta de trabalho, poderá gerar bons e maus projectos. O êxtase gerado pela constante modernização tanto ao nível das ferramentas de modelação, como dos processos de fabricação, coexiste com o perigo de transformar a arquitectura numa espécie de palco de exibição de formas complexas. As possibilidades trazidas pelas novas ferramentas digitais não devem menosprezar os fundamentos da disciplina da arquitectura. O arquitecto vê-se desta com responsabilidades acrescidas, uma vez que nem sempre poderá tocar os limites daquilo que é capaz de produzir, pelo menos do ponto de vista formal.

O capítulo que se segue, retrata um caso pratico, em que as ferramentas digitais facilitam a geração de formas complexas e permitem de um modo simplificado, a materialização de modelos físicos através do modelo digital.

## **PARTE II – APLICAÇÃO PRÁTICA**

### **3- GERAÇÃO DO MODELO DIGITAL**

Após a síntese teórica da revisão literária sobre o mundo da modelação digital, surgiu a importância da realização de um exercício prático e exploratório sobre esta temática, seguido da sua materialização por prototipagem, a fim de comprovar as potencialidades e exequibilidade da mesma.

Este exercício teve como objectivo, por uma lado, provar a facilidade com que é possível gerar um modelo digital com uma geometria complexa, e por outro, mostrar também que esse modelo poderá ser prototipado em qualquer fase da sua concepção.

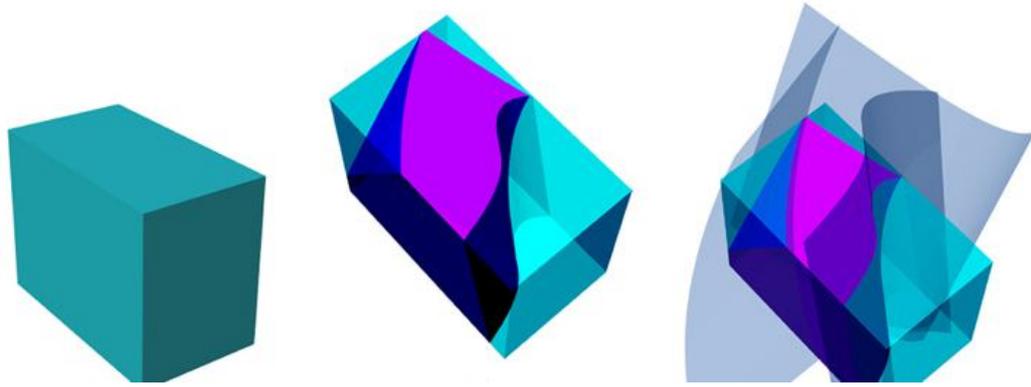
Neste sentido, inicia-se o exercício através da construção de um modelo digital, que se assemelha ao que poderia ser um objecto arquitectónico em fase embrionária. Propositadamente, este modelo não contém complexidade suficiente para poder ser considerado um projecto de Arquitectura, contudo, a sua criação é por si só um exercício capaz de demonstrar as potencialidades/facilidades digitais, algo que é o objectivo central desta aplicação prática. (Anexo 1)

#### **3.1 – Modelação Digital**

O modelo é gerado no software Rhinoceros®, e inicia-se com a inserção de uma forma primitiva, ou seja, tem como ponto de partida uma forma geométrica regular. Este sólido é cortado por superfícies NURBS, que por sua vez, são geradas pela união tridimensional de duas linhas NURBS com afastamentos diferentes. O exemplo seguinte demonstra um método de trabalho particular, podendo o mesmo resultado ser alcançado utilizando outro processo de trabalho. Numa fase inicial, o usuário organiza os elementos que prevê criar de forma a organizar a informação a ser introduzida no software. Nesta fase, são atribuídos layers respectivos á “base”, “volume”, “superfícies”, “elementos auxiliares”, “materiais”, “texto” e “contornos”.

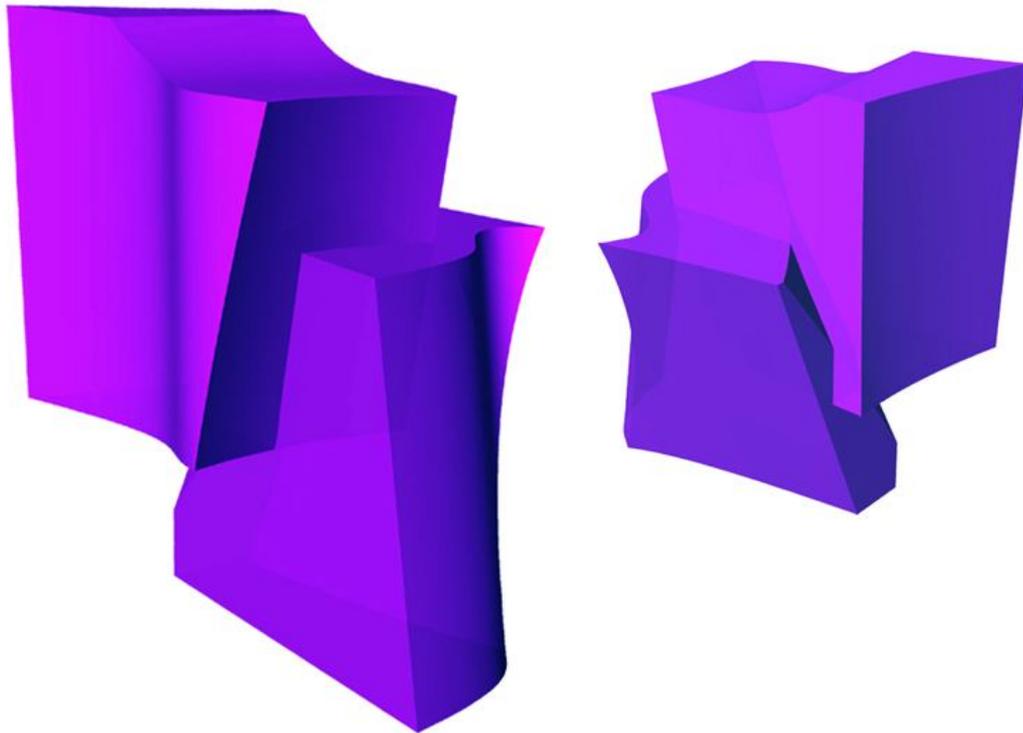
Numa segunda fase, é modelada uma forma primitiva paralelepipedica com o comando box com 12 metros de largura, 21 metros de comprimento e 16 metros de altura. Este volume inicial pode ainda ser modelado através da extrusão de uma forma rectangular com as medidas correspondentes a base, para isso, o usuário desenha um rectângulo com o comando *rectangle* e em seguida aplica o comando *extrude* com 16 metros de altura. Com o volume extrudido, ou com a atribuição dos parâmetros métricos à forma primitiva box caso tenha sido usado a primeira opção, o volume é duplicado com a aplicação do comando *copy* e os dois volumes são atribuídos ao layer “base”.

Numa terceira fase o volume é modelado, sendo que, neste contexto específico, em vez de se utilizar o controlo métrico das superfícies que constituem o volume (parametrização), ou então a acção de modificadores, é utilizada a intersecção de superfícies NURBS com o volume. Para isso, com o comando *interpolate curve* é desenhada uma linha NURB com um limite máximo de quatro pontos de controlo. Este limite de quatro pontos de controlo faz com que a curvatura resultante seja mais fluída, sendo que o ideal é utilizar apenas três pontos de controlo. No caso de o usuário não ficar satisfeito com as curvaturas desenhadas, poderá mover os “nós” que definem a curva ou até mesmo modificar as curvaturas com o comando *control points*. Após um resultado satisfatório, as curvas são extrudidas pela acção do comando *extrude* com uma altura de 20 metros. Nesta fase a curva NURB é transformada numa superfície NURB. Caso se pretenda uma maior complexidade, esta superfície pode ser gerada a partir de duas, três ou até mesmo quatro curvas NURBS diferentes, através do comando *loft*. As superfícies devem ser organizadas no layer “superfícies” e em seguida, são movidas até intersectarem o volume com o comando *move*, rodadas nos sentidos X, Y e Z com o comando *rotate3d*, e em seguida com o comando *split*, é dada a informação ao software de que superfície irá cortar o volume. Os elementos sobrantes, resultantes do corte do volume devem ser apagados com o comando *erase* e as curvas resultantes da construção das superfícies devem ser atribuídas ao layer “elementos auxiliares”.



Numa quarta fase, a operação anterior é repetida para o segundo volume de modo a que os dois volumes possam formar uma composição formal equilibrada. Após a lapidação dos volumes, o anterior volume fechado está neste momento desmontado em superfícies complexas que podem ser seleccionadas separadamente. As superfícies devem ser unidas com o comando *join*, de modo a que o volume passe a estar fechado, tornando-se assim uma única entidade.

Numa quinta fase, os objectos são submetidos a uma operação boliana, neste caso específico optou-se pela aplicação do comando *union*, após o posicionamento dos dois volumes de modo satisfatório através dos comando *move* e *rotate*.

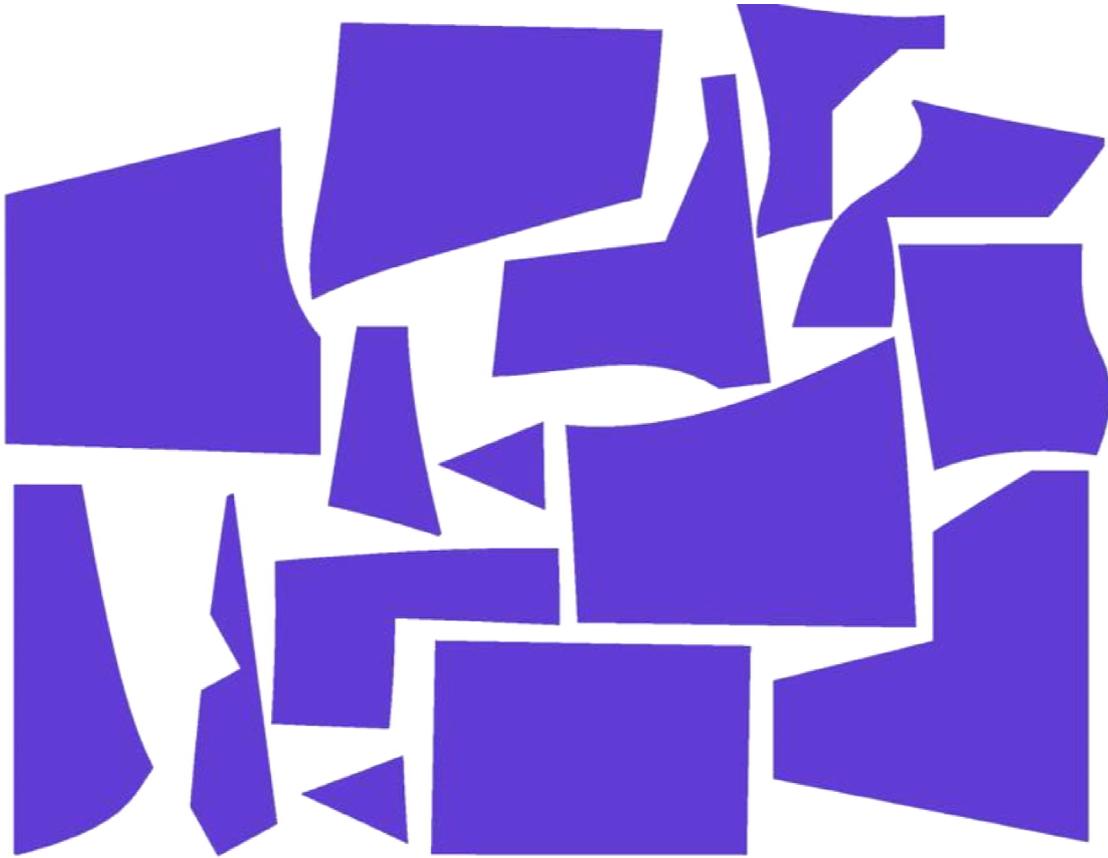


### 3.2 - Planificação do Modelo curvo.

Seguidamente, o modelo é planificado em diversos componentes planos, as arestas são automaticamente numeradas de forma a facilitar a montagem. Esta operação é executada na sua totalidade pelo software, independentemente da complexidade do modelo.

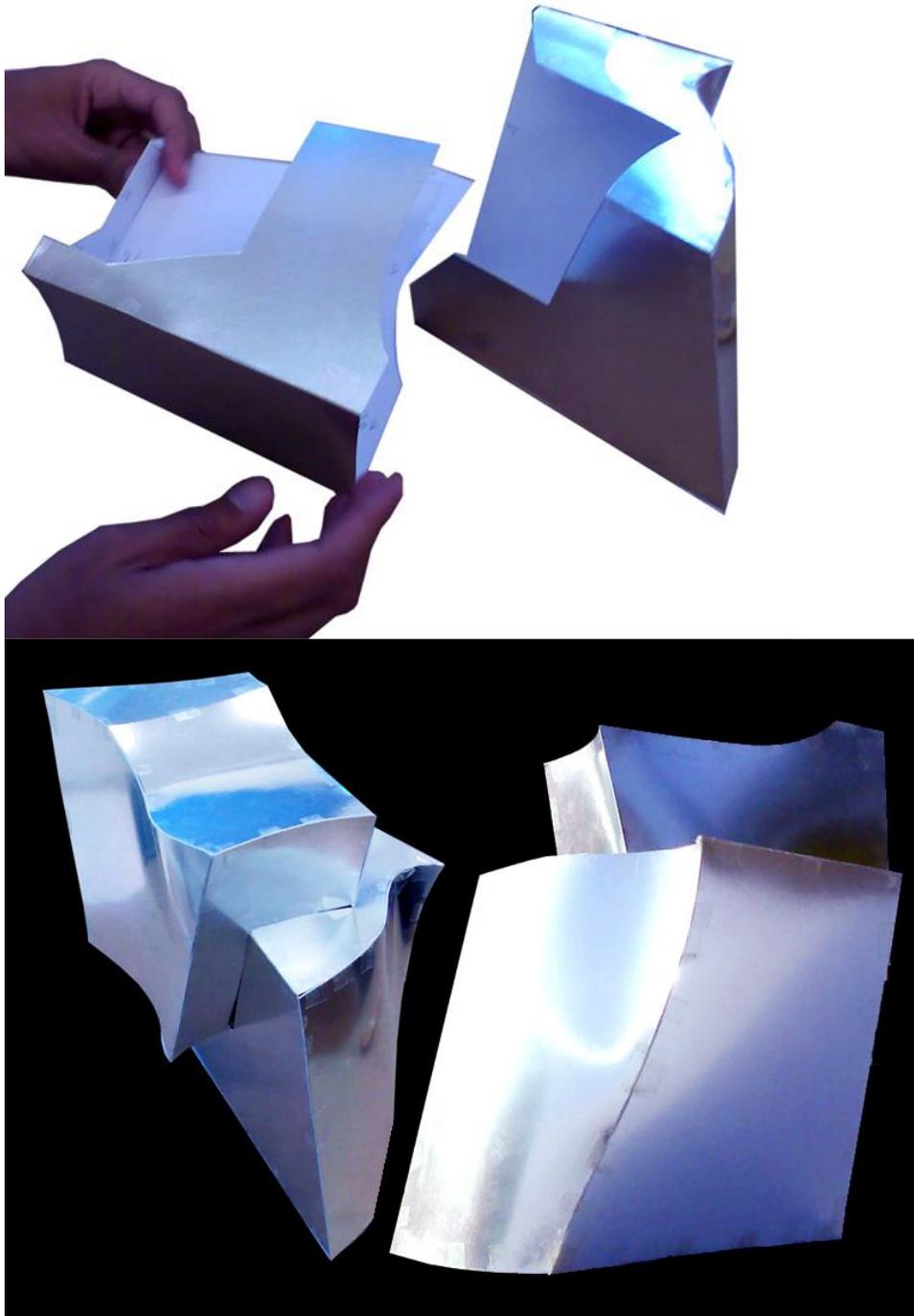
Numa sexta fase, as curvaturas NURBS dos dois objectos são planificadas pela aplicação do comando *unroll surface*. Esta operação poderá não resultar, uma vez que a planificação resultante poderá ser respectiva ao volume primitivo e não ao volume actual, para resolver esta contrariedade o usuário deve introduzir o comando *ShrinkTrimmedSrf*, o que faz com que o software reconheça a transformação efectuada na forma primitiva. O motivo pelo qual o comando *unroll* nem sempre resulta como esperado, deve-se ao facto da função “Record History” estar activa e, com a respectiva opção “always record” assinalada. Após a aplicação do comando *unroll* com a opção *labels* activa, o usuário deve organizar as planificações das superfícies de acordo com a fachada a que pertencem, tendo como auxílio as “labels” que permitem perceber o processo de construção do objecto. Para simplificar o processo de construção do objecto o usuário deve ainda atribuir um código a cada peça através do comando *text* de forma a que seja facilmente identificável a fachada a que pertence.

Numa fase final, as várias peças devem ser organizadas à escala desejada para a prototipagem, sendo que as várias peças devem ser colocadas de modo a conseguir o máximo aproveitamento do material.



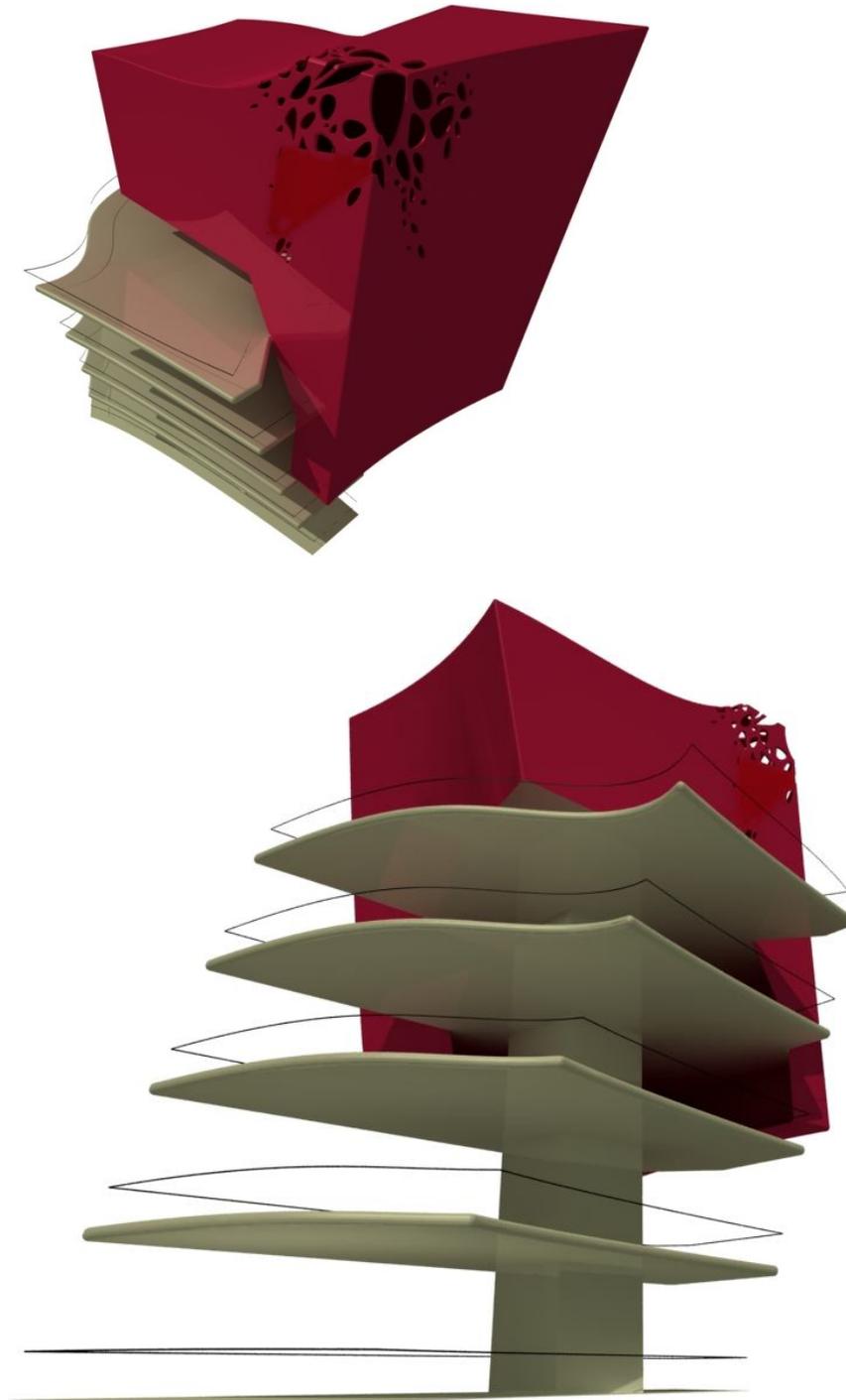
### **3.3 - Montagem do modelo planificado**

Neste momento, segue-se a fase da montagem dos componentes, em que as várias arestas numeradas são unidas, construindo assim, as curvaturas do modelo digital.



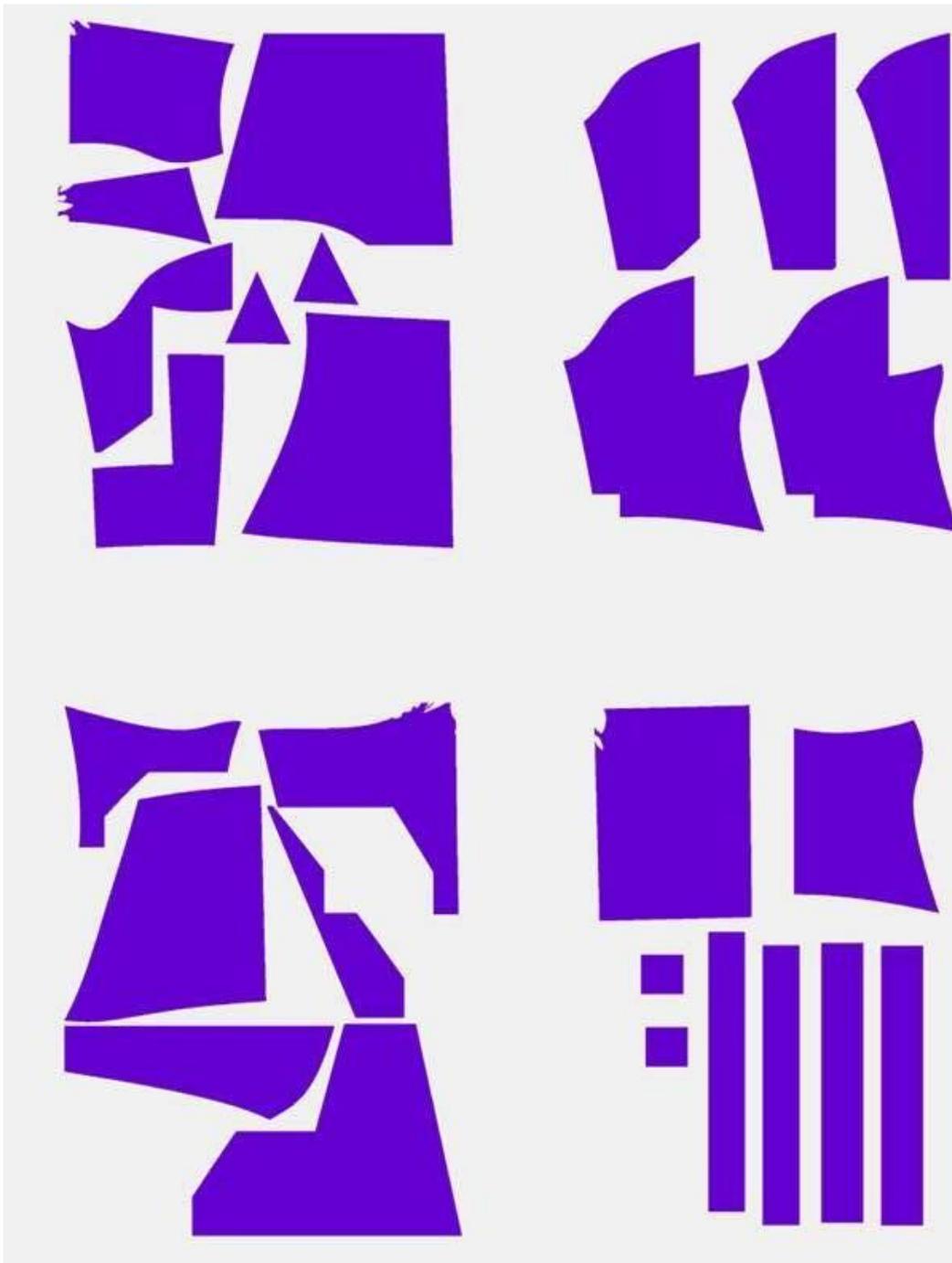
### 3.4 - Adição de pormenor/complexidade ao modelo digital

Partindo do estudo do protótipo gerado anteriormente, volta-se ao modelo digital com o intuito de adicionar mais informação, como sejam: lajes, caixa de elevador, guardas, pormenor da fachada, entre outras.



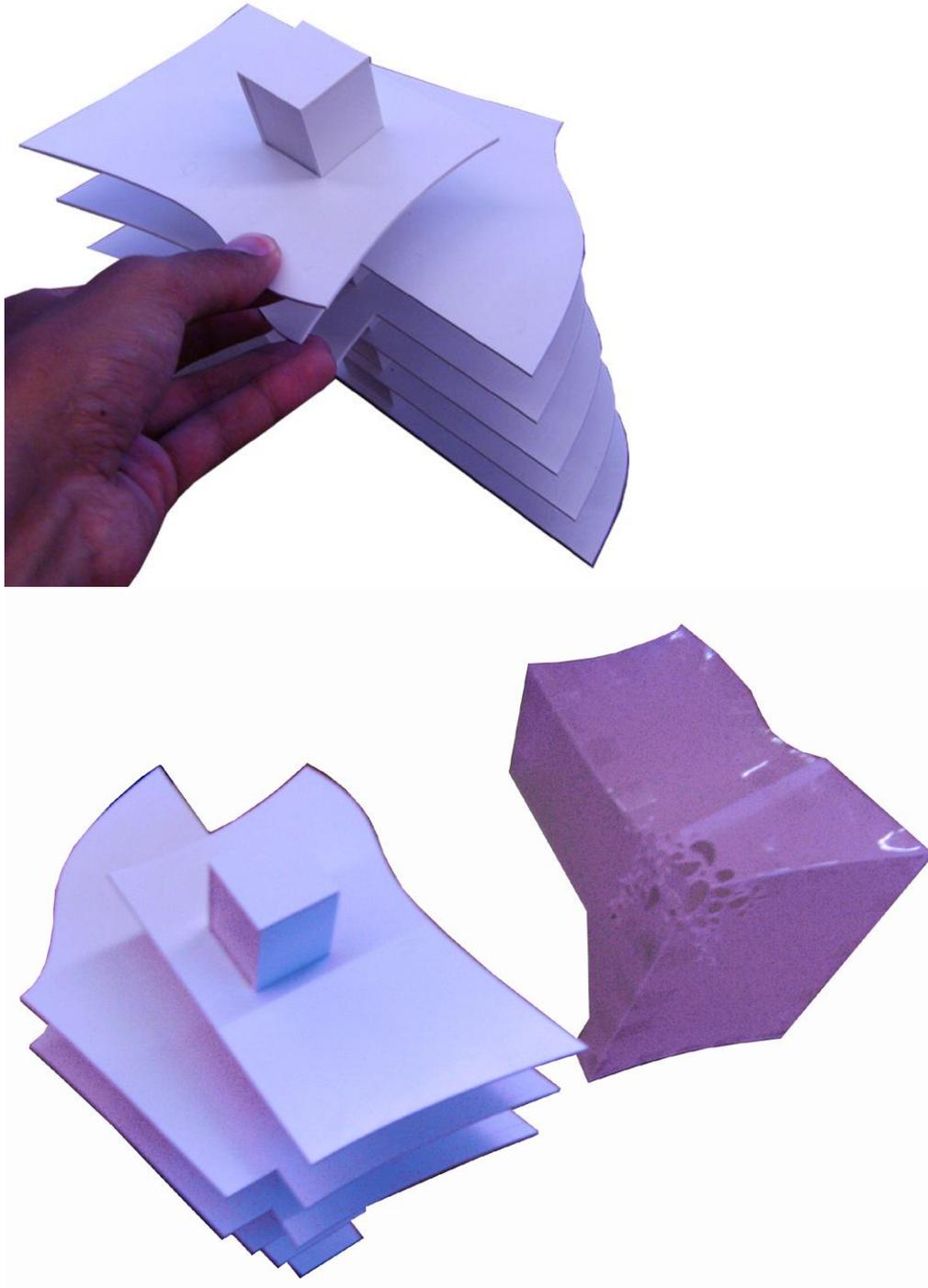
### 3.5 - Planificação do modelo curvo

Assim que foi alcançado o resultado desejado, recorre-se novamente ao comando de planificação do modelo digital. Nesta planificação, não consta apenas informação relativamente aos planos que contêm a silhueta do modelo, mas também, informação respectiva à informação adicionada (lajes, caixa de escadas, pormenor de fachada...).



### 3.6 - Montagem dos componentes

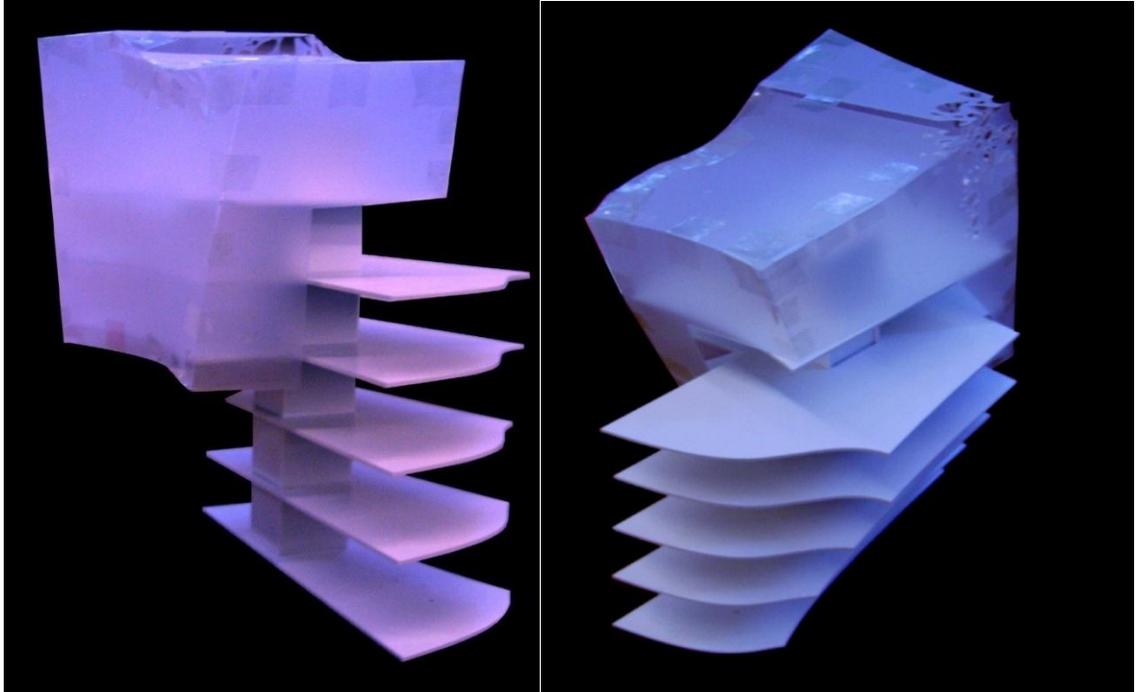
A operação de montagem dos componentes é repetida, contando desta vez com um grau de complexidade/informação acrescida. Nesta fase, além de ter sido acrescentados os pisos e a caixa de elevador, foi acrescentada informação ao nível da textura do revestimento exterior.



### 3.7 - Protótipo final

O modelo materializado poderá dar pistas mais seguras no que diz respeito à sua viabilidade enquanto modelo arquitectónico, uma vez que, o usuário poderá avaliar o modelo num ambiente que lhe é mais familiar, o ambiente físico. Este sistema de

prototipagem, acessível a qualquer pessoa que possua uma impressora convencional, permite de um modo bastante expedito, materializar um modelo digital, independentemente da sua complexidade.



A utilização dos recursos digitais, não implica necessariamente a aquisição de máquinas específicas de prototipagem, neste caso concreto, foi necessário apenas uma impressora e um software de modelação. Este equipamento poderá ser utilizado para a maquetização de um número bastante abrangente de protótipos. Todavia, apresenta uma grande desvantagem, o facto de o corte ser feito manualmente, perdendo-se assim grande parte do rigor de encaixe dos componentes. No entanto, este exercício visa provar o modo simplificado como uma geometria complexa pode ser gerada, assim como, transpor de um modo expedito o modelo digital para o ambiente físico. Deste modo o usuário tem a oportunidade de se relacionar com o modelo físico ao longo do processo criativo, adicionando alterações que poderão advir da experiência táctil com o modelo.

O caso prático anteriormente descrito, tem como objectivo a prática do software, através de uma técnica que poderá ser transposta para a prática da arquitectura. Pode também, constituir um ponto de partida para o desenvolvimento na área da fabricação assistida digitalmente, na medida em que, alberga os princípios básicos da

modelação e fabricação digitalmente assistida. Promovendo deste modo a desmistificação da utilização de equipamento numericamente controlado na materialização arquitectónica.

#### 4. CONCLUSÃO

A investigação numa dada área possibilita a criação de uma base científica que orienta a prática e assegurar a credibilidade da profissão numa área disciplinar. Ora, a Arquitectura não constitui excepção e, assim sendo, a investigação vem alargar o campo dos conhecimentos na área a que diz respeito, e facilitar o seu desenvolvimento como ciência. Desta forma, a investigação deve ser fomentada e apoiada nos seus mais diversos aspectos no seio da Arquitectura.

De uma forma mais directa, este trabalho pretende contribuir para uma consciencialização da forte influência das tecnologias digitais na Arquitectura. Consciencialização esta que poderá contribuir, quiçá, para que os conteúdos programáticos da licenciatura em Arquitectura se debrucem mais aprofundadamente nesta área tão diversificada, permitindo, aos seus alunos, uma abertura ao conhecimento de novas viabilidades arquitectónicas à semelhança do programa MIT Portugal.

Actualmente, o desenvolvimento das tecnologias digitais expressam um impacto profundo na Arquitectura. Este processo evolutivo, apoiado numa série de novas possibilidades e viabilidades, faz com que seja cada vez mais difícil prever o futuro da Arquitectura.

O desenvolvimento dos recursos digitais combina duas grandes frentes, por um lado as ferramentas de modelação digital, por outro, um conjunto de dispositivos mecânicos e técnicas de construção. Paralelamente ao crescente interesse pelas geometrias complexas, os novos recursos digitais optimizam-se no sentido de dar resposta a esta nova visão, escoltado pela modernização dos sistemas de fabricação assistida por computador, como meio de viabilização das novas exigências projectuais.

Os softwares disponíveis apresentam como principal vantagem o controlo do projecto, existindo menos espaço para o erro, uma vez que o projecto já não é desenvolvido através de sínteses bidimensionais, tais como plantas, cortes e alçados.

O Arquitecto desenvolve o projecto em três dimensões, deste modo, os desenhos bidimensionais passam a ter uma função meramente analítica.

Os recursos digitais surgem como uma espécie de extensão das capacidades Humanas, o Arquitecto, enquanto usuário, sujeito aos estímulos das possibilidades das ferramentas digitais é capaz de alcançar resultados impensáveis com recurso as técnicas tradicionais.

O universo digital, funda-se genericamente por um conjunto de formulários matemáticos e geométricos, apoiados numa plataforma de programação. O usuário, por sua vez, opera com o sistema digital, tendo como elo de ligação o interface que simplifica os vários formulários em ferramentas facilmente identificáveis pelo usuário. Neste sentido, o universo digital pode ser dividido em quatro ferramentas principais: modificador, superfícies, animação e análise, por sua vez, cada uma destas ferramentas contém um leque bastante alargado de ramificações e derivações.

A multiplicidade de ferramentas presentes nos softwares de modelação, aliadas à possibilidade de serem combinados de um modo ilimitado faz com que se atinja um universo infinito de possibilidades. Mesmo com um nível elevado de complexidade, o usuário tem um maior controlo sobre as geometrias, torna-se capaz de modelar qualquer forma que consiga imaginar com a mesma facilidade que modela uma forma que nunca pensou imaginar.

Os elementos mais significativos, dentro do universo do interface digital de modelação é os modificadores, que podem ser divididos em três grupos distintos: os paramétricos, os topológicos e os campos de forças. Os modificadores paramétricos adicionam a possibilidade de trabalhar o edifício como se se tratasse de um formulário, assim, qualquer alteração introduzida no projecto é automaticamente actualizada pelo software, o projecto adapta-se automaticamente ao novo parâmetro. Os modificadores topológicos permitem ao usuário uma maior flexibilidade de modelação sendo o resultado por vezes inesperado. Os vários tipos de modificadores topológicos podem ser combinados, cada modificador por sua vez, pode ser parametrizado, conseguindo assim, gerar uma qualquer geometria. Os campos de forças não são muito diferentes dos modificadores topológicos, apresentando como principal diferença a particularidade de, em vez de actuarem directamente no objecto,

têm influência dentro de um determinado campo a definir pelo usuário. O campo de modificação tem um especial potencial no contexto arquitectónico, uma vez que possibilita a criação de envolventes dinâmicas. Neste sentido, podem reproduzir-se envolventes reais no contexto digital, assim a introdução de forças faz com que o Arquitecto pense no projecto como um sistema dinâmico, abandonando assim a estabilidade temporal presente nos recursos tradicionais.

A combinação destas três ferramentas de modificação traduz-se numa adição significativa de complexidade às geometrias utilizadas. Por sua vez, a utilização de geometrias complexas, leva a uma crescente valorização da superfície, enquanto elemento tectónico.

As superfícies surgem no interface digital como um elemento passível de ser modificado, ou então, geradas a partir da interpolação de linhas. As superfícies que partem da parametrização têm como base as formas primitivas, enquanto que as superfícies NURBS são geradas através de linhas também elas NURBS.

Com a combinação das ferramentas de modificação e as superfícies, o usuário é capaz de modelar uma qualquer geometria, no entanto, só com a adição da ferramenta de animação é que se torna possível alcançar a variação dentro do mesmo tipo de forma. A animação possibilita ao usuário animar um determinado conjunto de modificações e estudar o processo de mutação do modelo. Deste modo, pode apurar o seu sentido crítico, uma vez que se torna mais sensível relativamente às pequenas variações formais do modelo. O arquitecto poderá ainda tirar partido do cruzamento da quarta dimensão com o modelo tridimensional.

A animação acrescenta a complexidade temporal ao ambiente digital, no entanto, não com a mesma concepção pela qual o conhecemos. No ambiente digital o passado, presente e futuro existem em simultâneo, o usuário pode escolher o *tempo* que achar mais adequado e desenvolvê-lo individualmente.

A animação pode ainda ser utilizada como uma ferramenta de edição de animações dinâmicas, sendo esta última possibilidade bastante útil no desenvolvimento de abordagens cinéticas.

Da animação derivou outro tipo de ferramenta, a análise, desenvolvida para calcular o desempenho do edifício em função de um determinado factor. No sentido de adaptar o projecto ao desempenho pretendido, a análise de desempenho permite ainda modificar e otimizar a forma do projecto. A combinação destas ferramentas resulta por vezes em tipos de abordagens muito distintas, sendo por vezes contraditórias, cada usuário pode desenvolver uma interpretação pessoal dos recursos digitais, tendo como consequência um estilo próprio de projecto.

O arquitecto já não depende das capacidades de desenho para explorar as geometrias complexas, o desenho é substituído pelas ferramentas digitais, que permitem uma interactividade muito intuitiva com o modelo digital.

As ferramentas digitais resultam num mecanismo que permite estimular a criatividade do usuário, possibilitando uma infinidade de abordagens e técnicas de trabalho diferentes, a mesma ferramenta pode ser utilizada de forma diferente tantas vezes quanto o numero de utilizadores.

O usuário é capaz de desenvolver uma geometria complexa com a mesma facilidade que desenvolve uma geometria simples. O resultado final supera a imaginação do criador, vai para além daquilo que é capaz de imaginar, uma vez que o usuário não imagina apenas a forma que quer alcançar, mas também o tipo de ferramentas que vai combinar. A combinação de ferramentas resulta geralmente em formas que o usuário não é capaz de prever, poderá ter uma ideia do que vai acontecer, mas não consegue prever com rigor o que vai acontecer. Neste sentido, o usuário é capaz de modelar o que consegue imaginar, com a mesma facilidade que modela o que nunca seria capaz de imaginar. O desenho digital apresenta-se como uma ferramenta criativa, em que o utilizador maximiza as suas capacidades. Como foi referido anteriormente, pode ser considerado um CAC, ou seja, uma ferramenta de criatividade assistida por computador.

O desenvolvimento de novas viabilidades construtivas conduziu a arquitectura para novos paradigmas formais, a superfície despertou o interesse de muitos arquitectos. Em muitas abordagens, o chão, paredes, são substituídos por uma superfície. Kolarevic denomina estes projectos como edifícios *envelope*, esta

abordagem centra-se na possibilidade de, com um único elemento tectónico envolver o espaço interior.

A crescente utilização de superfícies levanta uma série de novas problemáticas relativamente à fase de construção, existe um conjunto de ferramentas digitais que permite ao usuário estabelecer à priori uma estratégia de produção. Segundo Lisa Iwamoto, as ferramentas: *sectioning*, *tessellating*, *folding e contouring* permitem que o arquitecto crie uma estratégia de construção ainda na fase de modelação.

O desenvolvimento de diversas técnicas de fabricação permite alargar o número de possibilidades construtivas, o arquitecto pode decidir pela opção que se apresente mais viável num determinado contexto. Os avanços das técnicas de fabricação e produção arquitectónica, conduzem a uma série de novas necessidades ao nível dos materiais de construção. Os materiais passam a ter que responder a uma série de novas exigências, no caso específico das superfícies, o material que as constitui passa a desempenhar funções estruturais, e em muitos casos, a superfície contém além da sustentação do edifício todas as redes e instalações.

Neste contexto surgem materiais revolucionários, que em muitos casos, chegam mesmo a equiparar-se a organismos vivos, pelo facto de interagirem com o meio. No desenvolvimento de um projecto poderá constar a criação de um material específico, sendo este gerado em simultâneo com o projecto.

Em suma, com todos os avanços na área da fabricação digitalmente assistida, dentro de um projecto existem varias áreas de projecto associadas, o projecto da estratégia de produção, o projecto dos componentes e o projecto do material que vai constituir o edifício. Neste sentido, assiste-se assim a uma customização em massa, todo o edifício é fabricado com elementos únicos, os componentes estandardizados da Arquitectura tradicional tornam-se obsoletos no contexto digital.

A viabilidade económica desta “customização em massa” deve-se à utilização das máquinas de fabricação assistida digitalmente. Uma CNC fabrica um conjunto de peças únicas com a mesma facilidade que fabrica um conjunto de peças iguais. Neste contexto, a estandardização torna-se obsoleta, se antigamente uma linha de

montagem servia apenas para fabricar um objecto, actualmente, uma máquina CNC pode fabricar um leque muito abrangente de objectos diferentes.

A modelação de geometrias complexas está actualmente acessível a qualquer Arquitecto. Os softwares de modelação, ou mais particularmente o Rhino, o software utilizado no caso prático, possuem um interface bastante acessível permitindo transitar sem qualquer dificuldade de um software de desenho 2D para um software de modelação 3D. À medida que o Arquitecto efectua uma aproximação ao software e compreende o respectivo interface, torna-se capaz de modelar uma qualquer geometria. Vencido o desafio da modelação, e tal como constatado no caso prático, o utilizador dispõem de modificadores que possibilitam a fabricação de pequenos protótipos, ou caso seja possível, aceder ao respectivo equipamento, e fabricar componentes para materializar um determinado projecto.

No caso prático deste estudo, destaca-se também pela possibilidade do utilizador poder analisar o seu objecto no universo digital ou no contexto físico através da fabricação de um modelo à escala. Este modelo poderá constituir um contributo fulcral no controlo/domínio da geometria desenvolvida, neste sentido, o utilizador estando consciente da sua incapacidade em visualizar mentalmente uma geometria complexa, não deixará que esta limitação o faça desistir de uma forma geométrica menos convencional. Uma vez que este software oferece a garantia do controlo de qualquer forma geométrica.

O domínio deste tipo de programas, aliado a um conhecimento genérico das especificidades técnicas das máquinas de fabricação assistida por computador, assim como das novas tecnologias de materiais disponíveis, conduzem a um leque cada vez mais abrangente de viabilidades de projecto ao dispor do Arquitecto.

Desenvolver este trabalho, foi não só um desafio, mas igualmente uma satisfação por contribuir para o desenvolvimento do conhecimento sobre os recursos tecnológicos actualmente disponíveis para a prática da Arquitectura. Não

pretendendo em momento algum defender ou valorizar um estilo ou tendência arquitectónica em desfavor de outro, tradicional ou não, a pertinência deste estudo deve-se ao facto de permitir perceber os vários caminhos de evolução vindouros, assim como, consciencializar a acreditação dos recursos digitais como motor gerador de uma multiplicidade de abordagens arquitectónicas.

O universo de possibilidades inerentes ao contexto digital desencadeou um desenvolvimento paralelo dos recursos de fabricação. Os recursos de fabricação assistida por computador surgem como uma viabilização do desenvolvimento do desenho digital. Por outras palavras, não serviria de nada conseguir modelar geometrias complexas, se não fosse possível materializá-las.

A questão da fabricação foi durante muitos anos um factor inibidor no contexto arquitectónico, muitos arquitectos desenhavam apenas aquilo que podiam construir. A questão da viabilidade construtiva é fundamental para a credibilidade das ferramentas digitais.

Os recursos digitais surgem no contexto arquitectónico como um elemento gerador de novas potencialidades. As vantagens inerentes são conseguidas a vários níveis, não só o arquitecto ganha uma nova relação interactiva com o projecto, mas também, deixa de ser uma soma de plantas de várias especialidades, passando a ser o único suporte de formalização Arquitectónica. A relação concepção/materialização deixa de estar dependente da interpretação pessoal de desenhos, sendo a informação de projecto reconhecida directamente pela maquinaria de fabricação, passando-se assim, tal como já referido, para um único suporte, o digital, que concilia toda a informação de projecto, incluindo as várias especialidades, reduzindo drasticamente a possibilidade de surgirem erros aquando da construção.

No entanto, as vantagens descritas são confrontadas, a nível da construção civil, pela difícil implementação desta tecnologia. A maquinaria de fabricação de componentes arquitectónicos não está ainda implementada no mercado em número suficiente para que seja alcançável a sua corrente utilização. Do mesmo modo, surge uma relativa relutância nas empresas de materiais de construção, que não poderão simplesmente modificar os seus produtos, uma vez que esta mudança implica uma

reestruturação completa ao nível tecnológico e especialização de mão-de-obra, o que, inevitavelmente, se traduz em investimentos avultados.

Tal como aconteceu ao longo da evolução Humana, a sofisticação das edificações sempre andou a par da evolução das ferramentas, no entanto, esta evolução não tem um desenvolvimento linear, pois é feita de avanços e retrocessos. À semelhança do que sucedeu na revolução industrial, a existência de uma “nova” tecnologia, com uma série de vantagens inerentes, a prova da sua exequibilidade construtiva não foi suficiente para quebrar a barreira do preconceito. As inovações não precisam apenas de provar a sua viabilidade, precisam também de tempo para serem aceites. O trabalho desenvolvido pelas empresas criadoras de softwares, e utilizados na prática da Arquitectura dão sinais óbvios de que neste momento, as tecnologias digitais estão numa fase de aceitação. A última versão do Autocad2010®, constitui um exemplo muito significativo desta fase de transição. Este software replicou as principais vantagens do Archicad12®, como a ferramenta de cortes e alçados gerados automaticamente, oferecendo pela primeira vez a possibilidade de organizar todo o projecto num modelo 3D, ao qual são extraídas as plantas, cortes e alçados. Nesta versão, o autocad vai um pouco mais além do que nas versões anteriores, adicionando a possibilidade de impressão a três dimensões, ou seja, converter o modelo digital para informação de prototipagem. Isto significa que existe a possibilidade de criar modelos físicos a partir do modelo digital. Esta nova versão aparenta ser a prova de um processo gradual de aceitação das tecnologias digitais. Com este software, acredita-se que é um passo significativo ao aparecimento de empresas de prototipagem, e posteriormente, as máquinas de prototipagem acessíveis aos gabinetes de Arquitectura. Do protótipo ao edifício construído por recursos digitais, será apenas uma questão de tempo.

As novas viabilidades arquitectónicas, quer ao nível da criação, como da execução ou até mesmo do ponto de vista da materialidade, constituem um aumento muito significativo de possibilidades ao dispor dos arquitectos, contribuindo, conseqüentemente, para um aumento da diversidade arquitectónica.

Se, por um lado, se encerra esta abordagem, com a convicção de que todos os objectivos propostos inicialmente foram alcançados, por outro, nada se finaliza, pelo

contrário, abrem-se com este trabalho novos caminhos para aumentar o conhecimento neste campo. Na investigação nada é estanque, já que a resposta a uma questão, impõe novos trilhos/desafios, constituindo uma rede dispersa de novas possibilidades de conhecimento.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- BAEZA, A. (2004). *A Ideia Construída*. Portugal: Caledoscópio
- BARATA, J. (2007). *3ds Max 9 – Curso Completo*. Lisboa: FCA-Editora Informática
- BURNS, K. (2003, Março). *Surface: Architecture's Expand Field*. *Architectural Design*, 71, 86-91)
- BURRY, M. (2001, Abril). *Beyond Animation*. *Architectural Design*, 71, 06-16
- BURRY, M. (2003, Março), *Between Surface and Substance*. *Architectural Design*, 73, 08-19
- CACHE, B. (1998, Novembro), *Topological Architecture and Ambiguous Sign*, 133,66-69
- CRUZ, M. (2009, Abril/Maio). *A ideia de Pele habitável é essencial na Arquitectura*. *Arquitectura e Construção*, 54, 09-11
- FURTADO, G. e SOUSA, J. (2001, Outubro), “*Espaço real e espaço virtual*”. *Arquitectura e Vida*, 20, 127
- GOULTHORPE, M. (2001, Abril). *Misericord to a Grotesque Reification*. *Architectural Design*, 71, 56-63
- GRAFISOFT, (2008). *BIM Experience*. In [www.grafisoft.com]
- ISENBERG, B. (2009). *Conversations with Frank Gehry*. USA: Alfred A. Knopf
- IWAMOTO, L. (2007). *Digital Fabrication – Architectural and Material Techniques*. New York: Princeton Architectural Press
- KELLY, L MURDOCK, (2007). *3DS MAX Bible*, Canada: Wiley Publishing
- KOLAREVIC, B. (2003). *Architecture in the digital age – Design and manufacturing*. New York: Taylor & Francis
- KOLAREVIC, B. & MALKAWI, A. (2005). *Performative Architecture Beyond Instrumentality*. New York: Spon Press
- LISBOA, F. (1997). *Desenho Assistido por Computador*. Porto: FAUP Publicações.
- LYNN, G. (1999). *Animat Form*. Princeton: Architectural Press.

- LOOTSMA, B. (2000). *Super Dutch: New Architecture Netherlands*. New York: Princeton Architectural Press
- MCNEEL AND ASSOCIATES (2002). *Rhinoceros*. Level 1 e 2 v3.0. USA in [<http://www.rhino3d.com/>]
- MITCHELL, W. & McCULLOUGH, M. (1995). *Digital Design Media*. New York: Willey
- MONTEIRO, P. (2007, Setembro). *Arquitectura Cinética*. House, 17, 56-57
- MORALES, S. (1997). *Differences: topographies of Contemporary Architecture*. Cambridge: MIT Press
- MORE, G. (2001, Abril). *Time and the Technological Acquiescence of Animation*. Architectural Design, 71, 20-27
- NEGROPONTE, N. (1996), *Ser Digital*. Lisboa: Caminho
- NOVAK, M. et al. (2001). *Digital Real: Blobmeister - First Built Projects*. Basel: Birkhauser Verlag AG
- OLIVEIRA, P (2007, Março). *Novos processos, nova Arquitectura*. Arquitectura e Vida, 80, 116-123
- PERRELLA, S. (1998). *Hypersurfaces Architecture*. London: Maggie Toy
- QUINAZ et al. (Nº29 – 2007) *Edifício Sede da Vodafone no Porto*. CADProject
- RAHIM, A. (2001, Abril). Irreducible Time: Machining Possibilities, 71, 28-35
- ROCHA, A. (2007, Junho/ Julho). *Tecnologia BIM*. CADproject, 29, 30-33
- ROGERS, D. (2001). *An Introduction to NURBS with historical perspective*. USA: Academic Press
- SALOMON, D. (2006). *Curves and Surfaces for Computer Graphics*. U.S.A: Springer
- SOUSA J. (2006, Setembro). *A Biónica na Arquitectura*. Arquitectura e Vida, 74, 22-28
- SOUSA J. (2003, Outubro). *Uma introdução à integração de CAD-CAM na Arquitectura*. Arquitectura e Vida, 42, 20-25
- STACEY, M. (2004). *Digital Fabricators*. Cambridge: Architecture Press
- TAYLOR, M. (2003, Março). *Surface-Talk* Architectural Design, 73, 30-35

TSCHUMI, B. (2001, Abril). *Anodyne*. Architectural Design, 71, 17-19

VELOSO, E. (1998). *Geometria, Temas Actuais – Materiais para Professores*. Lisboa IIE

WIKIPEDIA (2009). Definição de Criatividade por Torrance (1965) in [<http://pt.wikipedia.org/wiki/Criatividade>]

## **ANEXOS**

## **ANEXO I - PROCESSO DE GERAÇÃO DO MODELO E PROTOTIPAGEM**

## Processo de geração do modelo e prototipagem – CAC 2008

- 1- Criação de Layers que permitam organizar os vários elementos no processo de modelação.

Comandos: Layer Properties

- 2- Modelar uma forma primitiva, neste caso uma caixa.

Comandos: Box, Rectangle, Extrusion, Copy

- 3- Seleccionar a cópia da caixa original através de superfícies geradas por linhas curvas extrudidas. Estas linhas são definidas no máximo por 4 pontos de controlo.

Comandos: Interpolate curve, Extrude curve, Move, Rotate, Rotate3D, Split, Trim, Erase

- 4- As superfícies resultantes da lapidação são unidas de forma a criar um sólido fechado.

Comandos: Interpolate Curve, Extrude Curve, Move, Rotate, Rotate3D, Split, Join

- 5- Proceder a uma cópia do sólido resultante para criar uma composição volumétrica entre ambos. Esta será feita por adição.

Comandos: Copy, Move, Rotate, Difference, Union

- 6- Rebater todas as faces do sólido resultante do passo anterior através do comando “unroll surface” com a opção de identificação de “Labels” activada. Esta informação, nas planificações 2D e no modelo 3D, será útil para orientar a construção do protótipo. As faces rebatidas deverão ser identificadas individualmente para simplificar o processo.

Comandos: Unroll Surface, Text

7- Organizar as superfícies rebatidas dentro de uma folha, otimizando os espaços sobranes. Posteriormente, extrair os seus contornos para com estes gerar os desenhos que serão impressos e que poderão potencialmente ser lidos por máquinas de corte.

Comandos: Duplicate Border, Rectangle, Move, Rotate

Fonte: Workshop ReD, Research+Design (2008)