

Maquinaria de 5 axis CNC-milling. Processo Subtractivo de Controle Numérico Computadorizado.



Maquinária de SLS - "Selective Laser Sintering". Processo Aditivo de Prototipagem Rápida.

representar estaticamente. Com as novas tecnologias de "desenho e maquete", a forma vem literalmente de acordo com o processo de projecto, etc; e, neste suporte de projecto, estamos sempre a pensar/projectar uma solução que inclusive pode deixar de ser única e determinista. Deixa de ser um momento estático, como de resto acontecia muito com o desenho, maquete e projecto tradicionais. Por outro lado, e de um modo muito prático, a associação paramétrica permite também alterar um desenho ou modelo de um modo mais fácil, produzindo de forma interactiva alterações topológicas, sem que tal implique abdicar do trabalho prévio.

Portanto, pode dizer-se que um parâmetro é uma variável à qual outras variáveis estão relacionadas, mediante equações paramétricas, reagindo sempre em sua concordância. O arquitecto opera sobre e de acordo com os parâmetros em que está sistematizada a evolução do processo criativo, que por sua vez restringe o resultado final de acordo com as delimitações feitas pelo arquitecto. Refira-se que esta modelação dita paramétrica pode ser efectuada através da simples alteração "manual" das dimensões no modelo tridimensional digital, através de uma folha de cálculo ou ainda de um *script*. Referindo-se a este mesmo assunto, Patrik Schumacher alude ao crescente interesse pelas lógicas de programação aplicadas à concepção arquitectónica – correspondente a uma segunda fase do Digital –, afirmando que os "(...) métodos de produção digital estão a afastar-se do modo tradicional de construir os modelos geométricos digitais. Deixamos de desenhar, para passar a programar ("*scripting*"). Isto tem uma relação directa com a transformação dos requisitos da investigação. A programação exige um nível de abstracção que, mais do que reproduzir um resultado, informa a máquina de modo a que esta possa produzi-lo, promovendo um aumento exponencial de *'output'* [...]." ⁹ Este autor assume, pois, alterações de nível metodológico que têm conduzido a uma automatização

do processo projectual. Em particular, é evidenciado o nível de abstracção necessário, que favorece as condições para uma solução, mais do que propriamente a solução em si, fomentando, a espontaneidade da mesma. Nesta mesma acepção, poderíamos evocar a definição de algoritmo por Fernando Lisboa, que o define como a solução capaz de dar forma a um problema, evidenciando a pertinência da sua utilização na concepção arquitectónica: "Se a definição exacta de algoritmo consiste, precisamente numa sequência finita e ordenada de regras, instruções ou operações, de resolver uma determinada classe de problemas, então formalizar um problema é definir o algoritmo da sua solução. (...) O algoritmo (...) ser por um lado, condição suficiente para a formalização de um processo, de um fluxo de informações, é por outro lado condição necessária para a programação de máquinas lógicas."¹⁰

Por último, interessa referir que a exploração e o domínio dos novos sistemas computacionais deu origem a diferentes técnicas digitais de modelação geométrica tridimensional, que, ainda assim, podem inter-relacionar-se, tirando o máximo partido de cada uma.

3. Manufatura

Sendo rigorosamente definidos, através de precisas funções matemáticas os modelos tridimensionais digitais em "NURBS" podem ser traduzido de um modo directo, *'file-to-factory'*, para a maquinaria de fabrico. Tal abdica da rígida normalização que caracteriza os, assim obsoletos, desenhos de execução, pelo que a produção de desenhos bidimensionais de execução poderá mesmo deixar de fazer sentido. Por outro lado, nos modelos digitais podem encontrar-se intrinsecamente integradas propriedades materiais e estratégias construtivas inerentes à proposta, desde o início do processo de concepção. De facto, um dos aspectos mais interessantes das novas ferramentas e sistemas de projecto tem a ver c

As tecnologias digitais promovem, de facto, um enquadramento favorável à –“personalização em massa”. Conceito este que insinua que o fabrico de componentes diferenciados pode ser financeiramente equivalente à produção em série de elementos idênticos, superando os constrangimentos impostos pelo imperativo da standardização. E tal comporta, como facilmente se perceberá, significativas repercussões no mundo da Arquitectura.

ção entre a concepção, produção e experiência. Com os CAD-ando se “constrói” um desenho está-se também a “desenhar” etros de fabrico, transporte, montagem e gestão, codificados no esenho. Este enfoque é relevante pois enfatiza um entendimento AD em que o seu potencial está muito para lá do mero io imagético computacional. Em oposição a esse entendimento domínio de algumas destas ferramentas de resto desprivilegia resses formalistas, permitindo o perseguir de uma solução to com o mundo concreto da realidade construtiva/tectónica. ar de um modo significativo o ciclo, a integração CAD/CAM ainda o controlo continuado de todas as etapas, desde concepção

inicial até ao acabamento final. Interessa pois referir que os sistemas de CAM continuam a permitir que, também nos processos digitais, seja possível a realização de rigorosas maquetas de estudo e apresentação e ainda a produção real de componentes de construção para a concretização do projecto. Tal ocorre mediante o recurso a distintos processos de fabrico, seleccionados consoante a pertinência em cada caso específico e que aqui interessa, sumariamente, descrever. Assim, nos sistemas de CAM, um modelo digital pode ser produzido, através de três distintas metodologias: operações aditivas (adição/aglomeração) no caso das RP machines, subtractivas (corte ou remoção) e formativas (deformação) no caso das CNC machines.



de SLS - "Selective Laser Sintering". Processo Aditivo de Prototipagem

Refira-se que, já em meados dos anos 1990, Mitchell e McCullough defendiam, de modo pioneiro, a operatividade dos processos aditivos de Prototipagem Rápida para a prática de arquitectura, identificando cinco processos principais: "Stereo Lithography Apparatus" (SLA), "Selective Laser Sintering" (SLS), "Fused Deposition Modeling" (FDM), "Laminated Object Manufacture" (LOM) e "3D-Printing" (TDP).¹¹ Todos eles recorrem à sobreposição sucessiva de material, camada a camada, configurando o modelo através de diversos processos curativos, dependendo da tecnologia seleccionada.

O processo SLA, que tira partido dos materiais *fotopoliméricos* (tais como a resina *epoxy*), permite a realização de modelos complexos, ou mesmo ocos, já que o meio envolvente à produção é líquido, mas a sua resistência mecânica não é comparável com a dos modelos de SLS¹², pelo que necessitam de um tratamento pós-cura. Sem necessitar de criar suportes sólidos para partes sem apoio (ao contrário do que acontece em SLA), já que o material não sintetizado actua como suporte, os modelos dos processos SLS baseiam-se na fundição de finas camadas de pó de material plástico ou metal e são indicados para a produção de objectos complexos, com concavidades, necessitando, ainda assim de acabamento, dada a sua estrutura porosa e permeável. Relativamente à tecnologia FDM, que se baseia na extrusão de finos filamentos de termoplásticos que solidificam sob refrigeração, as estruturas de suporte (geralmente em cera solúvel em água) constituem-se como o único desperdício de material.

Os processos LOM, que se constroem a partir da sobreposição de folhas de material, não permitem a realização de modelos ocos e necessitam de um acabamento superficial, mas os modelos podem adquirir uma volumetria considerável¹³. Relativamente à tecnologia TDP, mais utilizada em ambiente de escritório, esta parte da sobreposição de camadas de pó (geralmente cerâmica), compensa-se a durabilidade das superfícies não for um requisito essencial, dado que os modelos resultantes são frágeis, mesmo depois do obrigatório acabamento térmico.¹⁴

Numa outra metodologia, destacam-se dois principais processos de carácter substractivo e que utilizam sistemas de subtracção, remoção, ou desbaste de material, recorrendo ao controlo simultâneo de dois, ou mais eixos de acção: CNC-cutting (2D) e CNC-milling (3D), respectivamente. O primeiro consiste num processo de fabrico bidimensional, sendo provavelmente a tecnologia de manufactura assistida por computador mais utilizada, devido ao seu custo acessível e à capacidade de produzir objectos de dimensão considerável. Relativamente ao segundo processo, este fabrica objectos tridimensionais, tendo sido já usado para a produção de diversos componentes finais de construção (tais como paredes de pedra, moldes para cofragens de betão armado, moldes para modelação de vidro, etc.).

A última das metodologias anteriormente referidas relaciona-se com os processos formativos, que não adicionam nem subtraem material, consistindo na sua deformação, também ela controlada numericamente por computador, geralmente denominados por CNC-bending. O processo ocorre sobretudo mediante a acção mecânica e/ou por aquecimento e permite a produção de componentes finais de construção realizados à escala real.

Note-se que, contendo em si toda a informação necessária, tridimensional digital é, como fomos enfatizando, condição e, ao mesmo tempo, imprescindível para a sua própria produção. Assim, a computação – modelação geométrica – modelos digitais garante, automaticamente, a exequibilidade manufactura/construção, superando constrangimentos impostos pela geometria euclidiana e pela lógica da repetição. Como sintetizado por José Pedro Sousa e Gonçalo Furtado, "com a às tecnologias de manufacturação [...] decorrem mecanismo de materializar a informação proveniente da realidade sintética: aplicações CAD, estabelecendo uma ligação directa e efectiva: projecto, propriamente dito e a construção [...] criando condições para uma revisão de alguns conceitos que se tornaram dominante o de standardização."¹⁵ Em suma, as tecnologias digitais por de facto, um enquadramento favorável à –"personalização em Conceito este que insinua que o fabrico de componentes diferentes pode ser financeiramente equivalente à produção em série de idênticos, superando os constrangimentos impostos pelo imperativo da standardização. E tal comporta, como facilmente se percebe, significativas repercussões no mundo da Arquitectura.

4. Técnicas de Construção

Pode deduzir-se que a concepção de formas geometricamente complexas, digitalmente concebidas, aponta em sentido lato para um reposicionamento da técnica, da tectónica e da construção de arquitectura. Para indagar e considerar a construção de formas 'non-standard', diferencie-se também aqui as estratégias de fabrico tridimensional e as de fabrico bidimensional. Relativamente às primeiras, dadas as reduzidas dimensões dos possíveis de produzir com os referidos processos de fabrico tridimensionais, verifica-se mais frequentemente a sua utilização em detalhe arquitectónico ou, ainda, para a produção de elementos enquanto componentes de um todo. Aqui, a volumetria inicial é em partes menores – os componentes –, variando a sua dimensão consoante a tecnologia utilizada. Obtidas as peças finais, assiste-se ao montar de um enorme *puzzle* tridimensional, que configura a volumetria final. Por vezes, para a sua montagem *in loco*, recorrem-se igualmente, a tecnologias digitais.¹⁶

Numa outra perspectiva, o recurso a processos de fabrico bidimensionais obriga, necessariamente, a uma reinterpretação da volumetria inicialmente concebida. Procura-se obter um volume (tridimensional) através de uma sucessão de elementos bidimensionais, sendo beneficiadas as aproximações geométricas que melhor descrevem a forma tridimensional inicial. De acordo com Branco Kolarevic, "as estratégias de produção usadas na fabricação 2D incluem, geralmente, o contorno, a triangulação (ou a 'tessellation' poligonal) o uso de 'ruled', 'developable surfaces' e o desdobraimento. Todas elas envolvem a extracção de componentes bidimensionais, planos de superfícies ou sólidos, geometricamente complexos e definidos

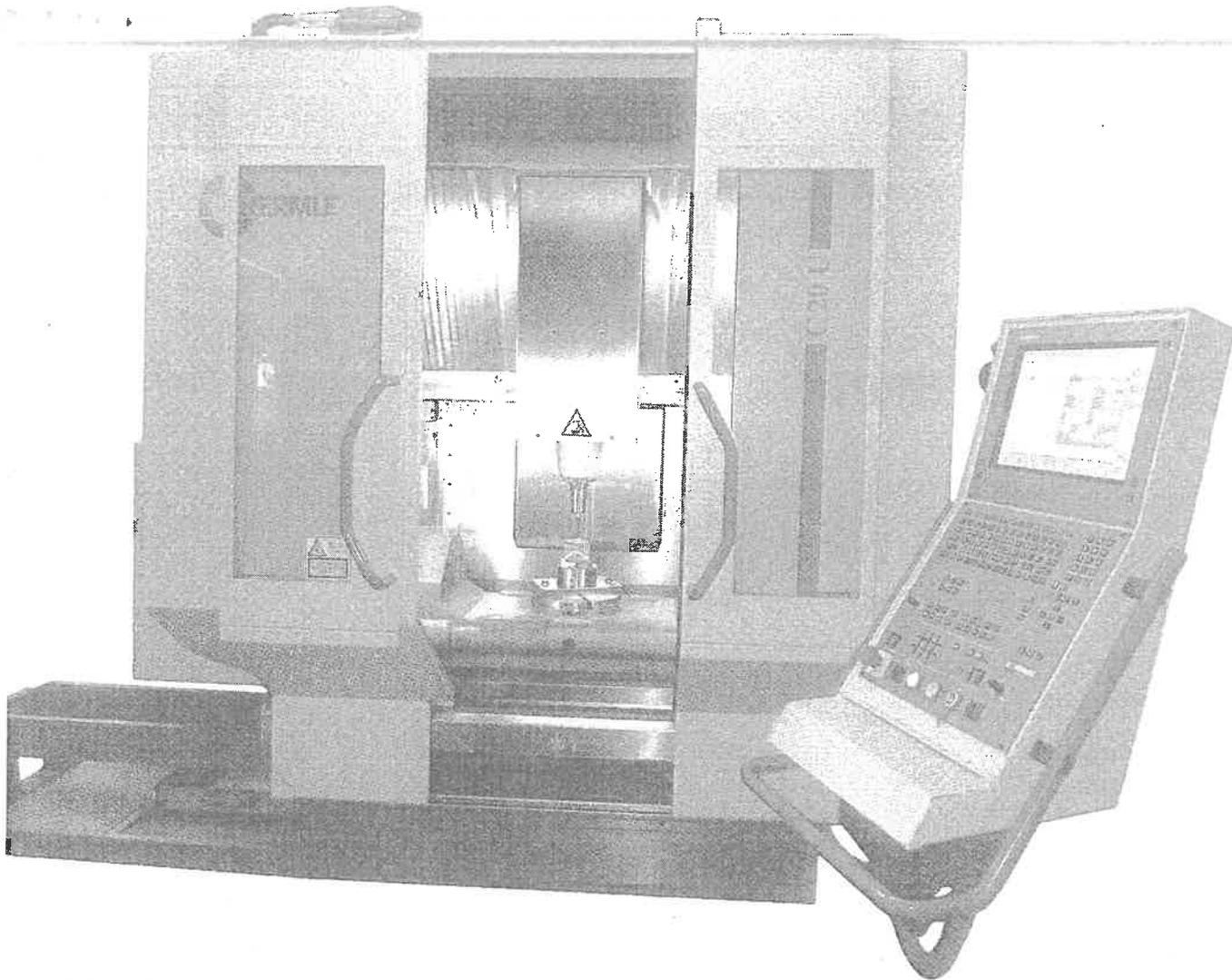


Fig. 10. Máquina de 5 axis CNC-milling. Processo Subtractivo de Controlo Numérico Computadorizado.

do edifício. Qual destas estratégias é usada depende daquilo que pretende definir construtivamente: a estrutura, a fachada, uma combinação dos dois, etc."¹⁷

Em conclusão, gostaríamos de constatar que observando algumas estratégias com formas não-euclidianas, geometricamente complexas, que atualmente foram surgindo ao longo do último século na História da Arquitetura, verifica-se que, efectivamente, muitas foram produzidas através de elementos bidimensionais e estratégias geométricas simples.¹⁸ Neste sentido, as estratégias referidas por Kolarevic

não seriam novidade e/ou exclusividade da utilização das tecnologias digitais na concepção de arquitetura. No entanto, estas vieram, indubitavelmente, torná-las mais acessíveis à prática quotidiana do 'arquitecto comum', sugerindo vários caminhos possíveis para a construção de formas 'non-standard'. Saliente-se, assim, o papel que a tecnologia computacional possui ao permitir considerar, repensar, modelar e construir novas geometrias de modo cada vez mais empírico e intuitivo. Por tudo isto, o impacto ao nível da prática e também das linguagens da Arquitetura poderá ser, no mínimo, significativo.

10 Ver, em Portugal, o governo implementou o computador 'Magalhães', que nasceu numa parceria com a 'Intel'. Note-se que a 'Intel' se desvinculou recentemente do projecto 'One Laptop Per Child'.

11 NICHOLAS, Nicholas, *Ser Digital*, Lisboa: Caminho, 1996 [1995].

12 GONÇALO, "Arquitetura e Sociedade da Informação", in: FURTADO, Gonçalo (ed.), *Arquitetura e Sociedade de Informação*, Porto, FAUP: 2002, pág.9.

13 GONÇALO, BRAGA, Fernando, SIMÃO, Manuel, NETO, Rui e DUARTE, Teresa, *ProtoClick - Prototipagem Rápida*, Porto: ProtoClick, 2001, pág.10.

14 Não ser de ordem funcional, programática, tipológica, geométrica, ambiental, rotativa, estrutural, financeira, etc.

15 GONÇALO, "Arquitetura e Sociedade da Informação", in: FURTADO, Gonçalo (ed.), *Arquitetura e Sociedade de Informação*, Porto, FAUP: 2002,

16 TÍTULO: FURTADO, Gonçalo, "Interferências do Digital na Arquitetura" (Tese de doutoramento em Barcelona: Universidade Politécnica da Catalunha, 2000.

17 MITCHELL, William e MCCULLOUGH, Malcolm, *Digital Design Media* (2nd ed.), Nova York: Wiley, 1995 [1991], pág.133.

18 BRANCO, Branko (ed.), *Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age*, New York: Taylor&Francis, 2003, pág.15.

19 SCHUMACHER, Patrick, "From Drawing to Scripting" in 01 AKAD, "Experimental Architecture and Design - Beginnings", Royal Institute of Technology, 2005. Disponível em: <http://patrickschumacher.com>.

10 LISBOA, Fernando, *Desenho de Arquitectura Assistido por Computador*, Porto: FAUP Publicações, 1997, pág.13.

11 MITCHELL, William e MCCULLOUGH, Malcolm, *Digital Design Media* (2nd ed.), Nova York: Wiley, 1995 [1991], págs.427-431.

12 ALVES, Fernando, BRAGA, Fernando, SIMÃO, Manuel, NETO, Rui e DUARTE, Teresa, *ProtoClick - Prototipagem Rápida*, Porto: ProtoClick, 2001, pág.72.

13 ALVES, Fernando, BRAGA, Fernando, SIMÃO, Manuel, NETO, Rui e DUARTE, Teresa, *ProtoClick - Prototipagem Rápida*, Porto: ProtoClick, 2001, pág.62.

14 Outros processos de prototipagem rápida estão em desenvolvimento, embora muitos se assemelhem aos já enunciados, apresentando-se como meras variações sobre o mesmo método, muitas vezes patenteado. Importa referir, em particular, o processo *Electron Beam Melting* (EBM), que fabrica peças metálicas pela fusão de pó metálico, através de um feixe de electrões, num espaço em vácuo. Ao contrário de SLS, os modelos finais são totalmente sólidos (livres de 'buracos') e extremamente resistentes.

15 FURTADO, Gonçalo e SOUSA, J. Pedro, "Espaço real e espaço virtual" in *Arquitetura e Vida*, vol. 20, Outubro de 2001b, pp.127.

16 Frank Gehry, *Guggenheim Museum*, Bilbao, Espanha, 1997.

17 KOLAREVIC, Branko (ed.), *Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age*, Nova York: Taylor&Francis, 2003, pág.43.

18 Ainda sem poder recorrer à maquinaria controlada por computador, os ditos edifícios foram construídos, muitas vezes, obedecendo a regras geométricas regradas, que afinal são relativamente simples, quando equacionadas perante a sua complexa aparência.

Modelação e Manufatura

Modelação Geométrica, Manufatura e Construção Assistida por Computador

Diogo Aguiar e Gonçalo Furtado

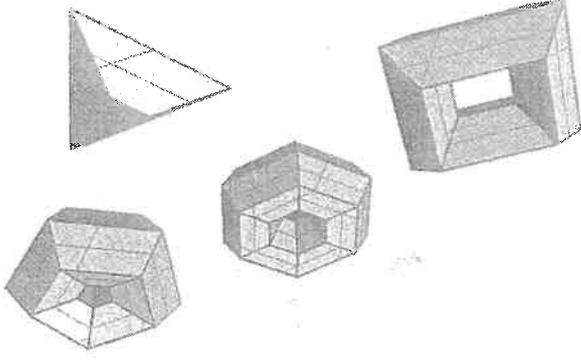
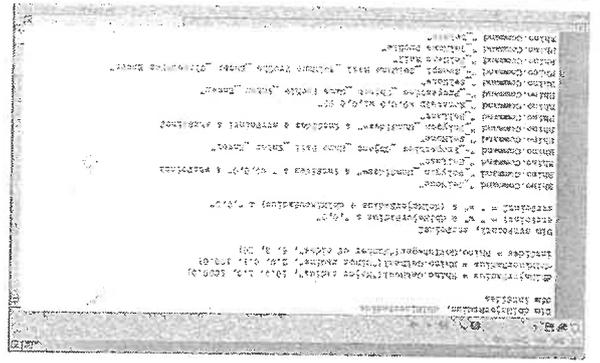
1. Introdução

A circunstância contemporânea pós-industrial, em que hoje vivemos, encontra-se fortemente dependente das tecnologias digitais. Acontece que convivemos com o plano educacional "One Laptop Per Child" de Nicholas Negroponte, próximo da realidade para que este apontava em "Being Digital". Paralelamente, ocorrem incontestáveis repercussões no campo da arquitectura. Como sintetizámos noutra ocasião: "um pouco por todo o lado implementa-se o modelo da Sociedade de Informação que se caracteriza pela centralidade que assume a informação e a comunicação e pelo acelerado ritmo de mudança. (...) Certo é que esta mudança transversal se insatura a toda a sociedade, como expressão do facto da Internet ter passado de mero recurso técnico a um verdadeiro fenómeno social económico e político. (...) A visibilidade das repercussões quotidianas da S.I. leva a supor como certo que as ressonâncias na arquitectura não tardem e torna pertinente analisar eventuais oscilações disciplinares ao nível da prática e da teoria."

De facto, constata-se hoje que a arquitectura não é indiferente à omnipresença das tecnologias digitais. Com o desenvolvimento da computação e dos sistemas CAD, o desenho, enquanto método de criação arquitectónica, tomara o desfilio de redifinir o seu âmbito, ampliando-se. Assim, o domínio de novos meios e geometrias, que conformaram novos espaços digitais de modelação projectual, levaria a uma redefinição metodológica no campo da representação e concepção arquitectónica. Em suma, o quadro techno-cultural digital e físico – a que alude o título deste artigo – parece vir a caracterizar uma parte significativa da prática da arquitectura.

2. Modelação Geométrica

O desenho assistido por computador que, como por vezes assinalava Fernando Lisboa, é um desenho que deixa de ser desenhado para ser "construído", possibilita o controlo tridimensional de geometrias de grande complexidade, não-euclidianas, entendendo o campo de acção e o repertório linguístico e formal da arquitectura contemporânea. Neste modo, mais do que "estruturadores electrónicos", os sistemas de desenho computacional consideraram simultaneamente diversos parâmetros;



Script para Volumétrica Toroid. A seguinte a configuração de um script que, como um novo comando prático, automatiza a formatação de volumetrias toroidais, à direita

no sentido em que não têm uma forma única referente que possamos, as novas maquetas (os modelos tridimensionais digitais) são distorções, dinâmico do processo digital. Podemos dizer que, de certa forma, Sobre este mesmo aspecto, gostaríamos de aludir a um carácter mais modelo, que portanto se assume como a-morto.

se altera, reconfigurando-se. Trata-se de "actualizações" de um mesmo quando se alteram os valores a elas intrínsecos, também a sua forma físicas e outras variáveis do modelo tridimensional, de um modo que, "NURBS" permite relacionar de um modo paramétrico, as dimensões

garantida pela sua definição vectorial. Graças à sua definição matemática

flexibilidade topológica das "splines" (e das superfícies por elas definidas)

tridimensional universalmente mais adoptado, caracterizado pela

de "NURBS", um dos sistemas computacionais de modelação geométrica

E, neste contexto, poderá, por exemplo, realgar-se a importância

como logo evidenciado por William Mitchell e Malcolm McCullough,

definições, que se constroem através de relações e associações topológicas

representações fixas, através de outras dinâmicas e vectorialmente

O desenho contemporâneo de concepção digital supera assim

Parametric CAD e manufatura - CAD CAM) 16

manufatura-experiência (quando associados a softwares de gestão

colaborativas de rede, assim como oferece a possibilidade de concepção

associado a sistemas de raciocínio baseado na casuística) e práticas

(representações dinâmicas integradas), aconselhamento inteligente (quando

disponibiliza práticas de modelação e procedimentos generativos

só instrumental. Neste sentido o Projecto assistido por computador

se entendermos os CAD como uma aportação metodológica e não

um novo ambiente de projecto que possui múltiplas potencialidades

- repetimos palavras anteriormente usadas. "Tende a conformar-se

que reporta a esta realidade favorecida pela integração CAD/CAE/CAM

intrinsecamente a informação requerida para a sua construção. No

tempo, o modelo digital adquire enorme protagonismo, comportando

(mais) dimensões, e a sua consequente transposição formal. Ao mesmo

delineiam produtivamente o processo criativo, o qual opera a quatro (ou

de concepção formal. É a performance interactiva das variáveis que

que poderão incluir assumir um papel na condução dos processos

Modelação e Manufatura

Modelação Geométrica, Manufatura e Construção Assistida por Computador

DIOGO AGUIAR E GONÇALO FURTADO

1. Introdução

A circunstância contemporânea pós-industrial, em que hoje vivemos, encontra-se fortemente dependente das tecnologias digitais. Atente-se que convivemos com o plano educacional "One Laptop Per Child" de Nicholas Negroponte, próximo da realidade para que este apontava em "Being Digital"². Paralelamente, ocorrem incontestáveis repercussões no campo da arquitectura. Como sintetizámos noutra ocasião: "um pouco por todo o lado implementa-se o modelo da Sociedade de Informação e a comunicação e pelo acelerado ritmo de mudança. (...) Certo é que esta mutação transversal se instaura a toda a sociedade, como expressa o facto da Internet ter passado de mero recurso técnico a um verdadeiro fenómeno social económico e político. (...) A visibilidade das repercussões quotidianas da S.I. leva a supor como certo que as ressonâncias na arquitectura não tardem e torna pertinente analisar eventuais oscilações disciplinares ao nível da prática e da teoria."³

De facto, constata-se hoje que a arquitectura não é indiferente à omnipresença das tecnologias digitais. Com o desenvolvimento da computação e dos sistemas CAD, o desenho, enquanto método de criação arquitectónica, tomara o desafio de redefinir o seu âmbito, ampliando-se. Assim, o domínio de novos meios e geometrias, que conformaram novos espaços digitais de modelação projectual, levaria a uma redefinição metodológica no campo da representação e concepção arquitectónica. Em suma, o quadro tecno-cultural digital e físico – a que alude o título deste artigo – parece vir a caracterizar uma parte significativa da prática da arquitectura.

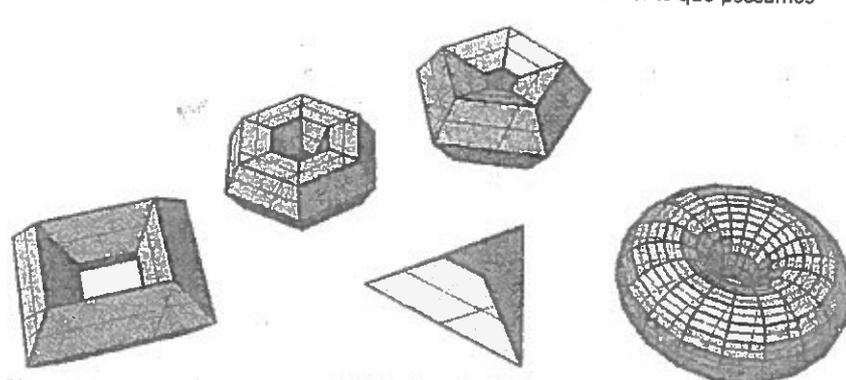
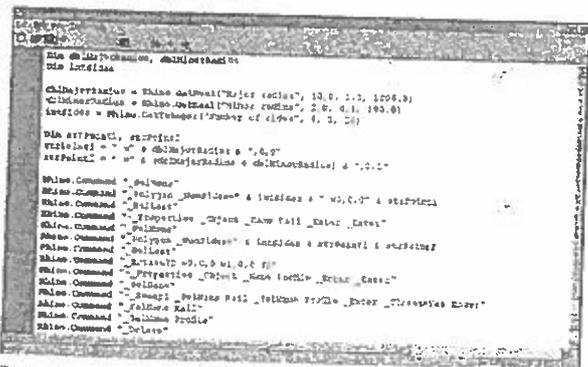
2. Modelação Geométrica

O desenho assistido por computador que, como por vezes assinalava Fernando Lisboa, é um desenho que deixa de ser desenhado para ser "construído", possibilita o controlo tridimensional de geometrias de grande complexidade, não-euclidianas, estendendo o campo de acção e o repertório linguístico e formal da arquitectura contemporânea. Deste modo, mais do que "estiradores electrónicos"⁴, os sistemas de desenho computacional consideram simultaneamente diversos parâmetros⁵,

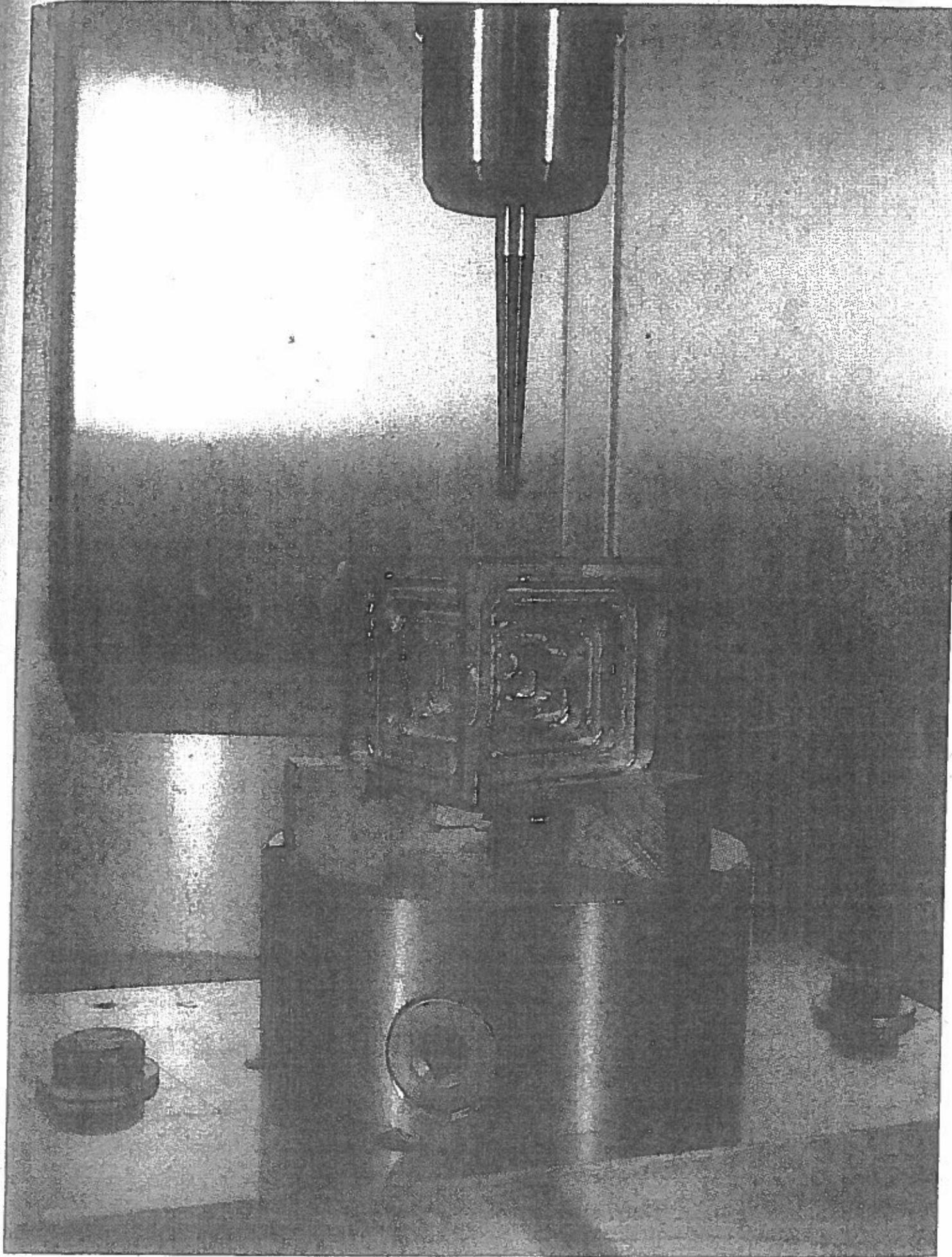
que poderão incluso assumir um papel na condução dos processos de concepção formal. É a performance interactiva das variantes que delimitam produtivamente o processo criativo, o qual opera a quatro (o mais) dimensões, e a sua conseqüente transposição formal. Ao mesmo tempo, o modelo digital adquire enorme protagonismo, comportando intrinsecamente a informação requerida para a sua construção. No que reporta a esta realidade favorecida pela integração CAD/CAE/CAM – repetimos palavras anteriormente usadas. "Tende a conformar-se um novo ambiente de projecto que possui múltiplas potencialidades se entendermos os CAD como uma aportação metodológica e não só instrumental. Neste sentido o Projecto assistido por computador disponibiliza práticas de modelação e procedimentos generativos (representações dinâmicas integrais), aconselhamento inteligente (quando associado a sistemas de raciocínio baseado na casuística) e práticas colaborativas de rede, assim como oferece a possibilidade de concepção-manufatura-experiência (quando associados a softwares de gestão Parametric CAD e manufatura - CAD CAM)."⁶

O desenho contemporâneo de concepção digital supera assim representações fixas, através de outras dinâmicas e vectorialmente definidas, que se constroem através de relações e associações topológicas como logo evidenciado por William Mitchell e Malcolm McCullough.⁷ E, neste contexto, poderá, por exemplo, realçar-se a importância de "NURBS", um dos sistemas computacionais de modelação geométrica tridimensional universalmente mais adoptado⁸, caracterizado pela flexibilidade topológica das "splines" (e das superfícies por elas definidas, garantida pela sua definição vectorial. Graças à sua definição matemática "NURBS" permite relacionar de um modo paramétrico, as dimensões físicas e outras variáveis do modelo tridimensional, de um modo que, quando se alteram os valores a elas intrínsecos, também a sua forma se altera, reconfigurando-se. Tratam-se de "actualizações" de um mesmo modelo, que portanto se assume como a-morfo.

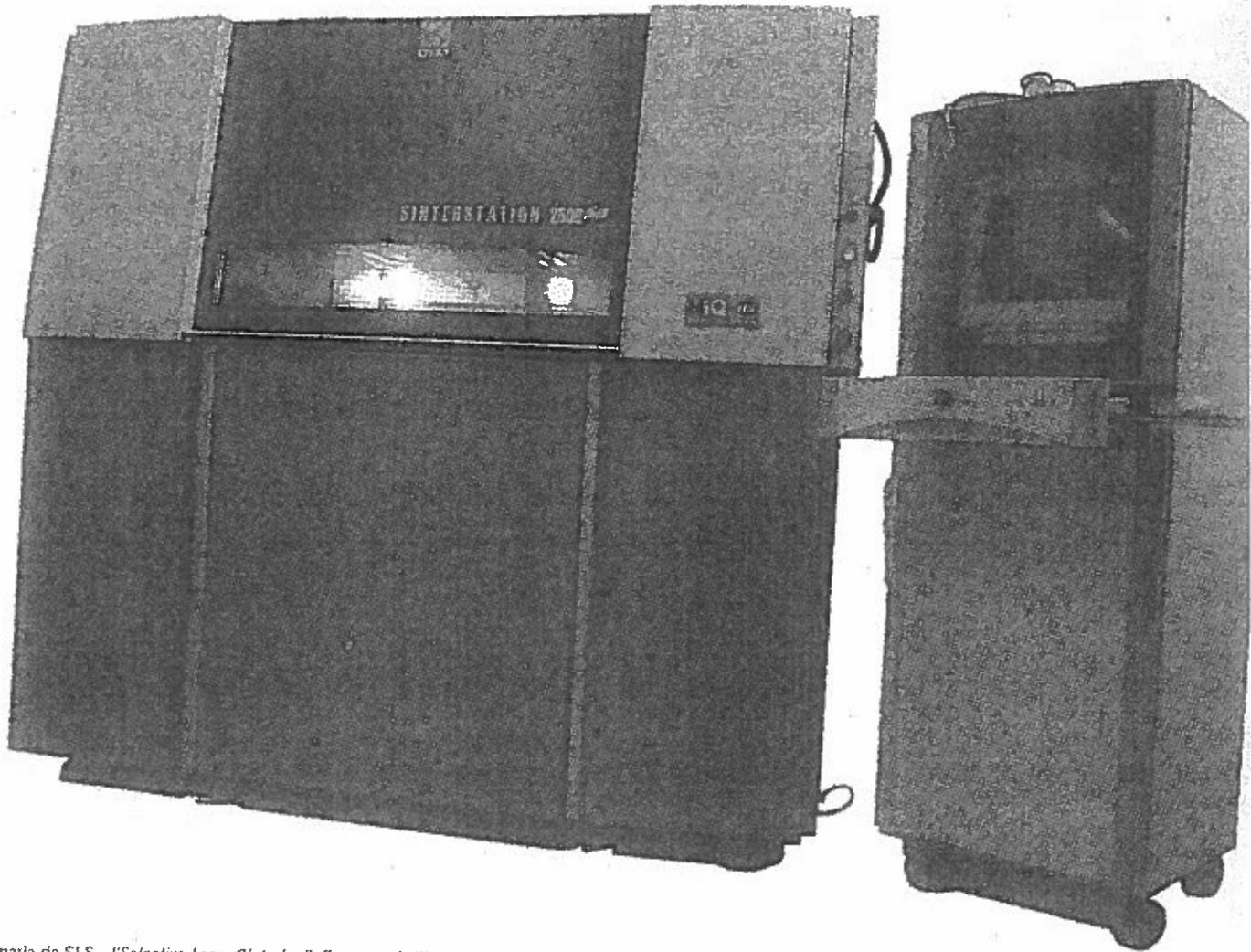
Sobre este mesmo aspecto, gostaríamos de aludir a um carácter mais dinâmico do processo digital. Podemos dizer que, de certa forma, as novas maquetas (os modelos tridimensionais digitais) são disformes, no sentido em que não têm uma forma única referente que possamos



Script para Volumetria Toroidal. À esquerda a configuração de um script que, como um novo comando pretende automatizar a formalização de volumetrias toroidais; à direita algumas das suas possíveis configurações, considerando raio maior, menor e número de faces do polígono.



Maquinaria de 5 axis CNC-milling. Processo Substractivo de Controlo Numérico Computadorizado.



Maquinaria de SLS - "Selective Laser Sintering". Processo Aditivo de Prototipagem Rápida.

representar estaticamente. Com as novas tecnologias de "desenho e maquete", a forma vem literalmente de acordo com o processo de projecto, etc; e, neste suporte de projecto, estamos sempre a pensar/projectar uma solução que inclusive pode deixar de ser única e determinista. Deixa de ser um momento estático, como de resto acontecia muito com o desenho, maquete e projecto tradicionais. Por outro lado, e de um modo muito prático, a associação paramétrica permite também alterar um desenho ou modelo de um modo mais fácil, produzindo de forma interactiva alterações topológicas, sem que tal implique abdicar do trabalho prévio.

Portanto, pode dizer-se que um parâmetro é uma variável à qual outras variáveis estão relacionadas, mediante equações paramétricas, reagindo sempre em sua concordância. O arquitecto opera sobre e de acordo com os parâmetros em que está sistematizada a evolução do processo criativo, que por sua vez restringe o resultado final de acordo com as delimitações feitas pelo arquitecto. Refira-se que esta modelação dita paramétrica pode ser efectuada através da simples alteração "manual" das dimensões no modelo tridimensional digital, através de uma folha de cálculo ou ainda de um *script*. Referindo-se a este mesmo assunto, Patrik Schumacher alude ao crescente interesse pelas lógicas de programação aplicadas à concepção arquitectónica – correspondente a uma segunda fase do Digital –, afirmando que os "(...) métodos de produção digital estão a afastar-se do modo tradicional de construir os modelos geométricos digitais. Deixamos de desenhar, para passar a programar ("*scripting*"). Isto tem uma relação directa com a transformação dos requisitos da investigação. A programação exige um nível de abstracção que, mais do que reproduzir um resultado, informa a máquina de modo a que esta possa produzi-lo, promovendo um aumento exponencial de '*output*' [...]." ⁹ Este autor assume, pois, alterações de nível metodológico que têm conduzido a uma automatização

do processo projectual. Em particular, é evidenciado o nível de abstracção necessário, que favorece as condições para uma solução, mais do que propriamente a solução em si, fomentando, a espontaneidade da mesma. Nesta mesma acepção, poderíamos evocar a definição de algoritmo por Fernando Lisboa, que o define como a solução capaz de dar forma a um problema, evidenciando a pertinência da sua utilização na concepção arquitectónica: "Se a definição exacta de algoritmo consiste, precisamente numa sequência finita e ordenada de regras, instruções ou operações, de resolver uma determinada classe de problemas, então formalizar um problema é definir o algoritmo da sua solução. (...) O algoritmo (...) ser por um lado, condição suficiente para a formalização de um processo, de um fluxo de informações, é por outro lado condição necessária para a programação de máquinas lógicas."¹⁰

Por último, interessa referir que a exploração e o domínio dos novos sistemas computacionais deu origem a diferentes técnicas digitais de modelação geométrica tridimensional, que, ainda assim, podem inter-relacionar-se, tirando o máximo partido de cada uma.

3. Manufatura

Sendo rigorosamente definidos, através de precisas funções matemáticas, os modelos tridimensionais digitais em "NURBS" podem ser traduzidos de um modo directo, '*file-to-factory*', para a maquinaria de fabrico. Tal abdica da rígida normalização que caracteriza os, assim obsoletos, desenhos de execução, pelo que a produção de desenhos bidimensionais de execução poderá mesmo deixar de fazer sentido. Por outro lado, nos modelos digitais podem encontrar-se intrinsecamente integradas propriedades materiais e estratégias construtivas inerentes à proposta, desde o início do processo de concepção. De facto, um dos aspectos mais interessantes das novas ferramentas e sistemas de projecto tem a ver com

As tecnologias digitais promovem, de facto, um enquadramento favorável à –“personalização em massa”. Conceito este que insinua que o fabrico de componentes diferenciados pode ser financeiramente equivalente à produção em série de elementos idênticos, superando os constrangimentos impostos pelo imperativo da estandardização. E tal comporta, como facilmente se perceberá, significativas repercussões no mundo da Arquitectura.

ção entre a concepção, produção e experiência. Com os CAD-ando se “constrói” um desenho está-se também a “desenhar” outros de fabrico, transporte, montagem e gestão, codificados no desenho. Este enfoque é relevante pois enfatiza um entendimento AD em que o seu potencial está muito para lá do mero io imagético computacional. Em oposição a esse entendimento domínio de algumas destas ferramentas de resto desprivilegia eresses formalistas, permitindo o perseguir de uma solução to com o mundo concreto da realidade construtiva/tectónica. ar de um modo significativo o ciclo, a integração CAD/CAM ainda o controlo continuado de todas as etapas, desde concepção

inicial até ao acabamento final. Interessa pois referir que os sistemas de CAM continuam a permitir que, também nos processos digitais, seja possível a realização de rigorosas maquetas de estudo e apresentação e ainda a produção real de componentes de construção para a concretização do projecto. Tal ocorre mediante o recurso a distintos processos de fabrico, seleccionados consoante a pertinência em cada caso específico e que aqui interessa, sumariamente, descrever. Assim, nos sistemas de CAM, um modelo digital pode ser produzido, através de três distintas metodologias: operações aditivas (adição/aglomeração) no caso das RP machines, subtractivas (corte ou remoção) e formativas (deformação) no caso das CNC machines.



de SLS - "Selective Laser Sintering". Processo Aditivo de Prototipagem

Refira-se que, já em meados dos anos 1990, Mitchell e McCullough defendiam, de modo pioneiro, a operatividade dos processos aditivos de Prototipagem Rápida para a prática de arquitectura, identificando cinco processos principais: "Stereo Lithography Apparatus" (SLA), "Selective Laser Sintering" (SLS), "Fused Deposition Modeling" (FDM), "Laminated Object Manufacture" (LOM) e "3D-Printing" (TDP).¹¹ Todos eles recorrem à sobreposição sucessiva de material, camada a camada, configurando o modelo através de diversos processos curativos, dependendo da tecnologia seleccionada.

O processo SLA, que tira partido dos materiais *fotopoliméricos* (tais como a resina *epoxy*), permite a realização de modelos complexos, ou mesmo ocas, já que o meio envolvente à produção é líquido, mas a sua resistência mecânica não é comparável com a dos modelos de SLS¹², pelo que necessitam de um tratamento pós-cura. Sem necessitar de criar suportes sólidos para partes sem apoio (ao contrário do que acontece em SLA), já que o material não sintetizado actua como suporte, os modelos dos processos SLS baseiam-se na fundição de finas camadas de pó de material plástico ou metal e são indicados para a produção de objectos complexos, com concavidades, necessitando, ainda assim de acabamento, dada a sua estrutura porosa e permeável. Relativamente à tecnologia FDM, que se baseia na extrusão de finos filamentos de termoplásticos que solidificam sob refrigeração, as estruturas de suporte (geralmente em cera solúvel em água) constituem-se como o único desperdício de material.

Os processos LOM, que se constroem a partir da sobreposição de folhas de material, não permitem a realização de modelos ocas e necessitam de um acabamento superficial, mas os modelos podem adquirir uma volumetria considerável¹³. Relativamente à tecnologia TDP, mais utilizada em ambiente de escritório, esta parte da sobreposição de camadas de pó (geralmente cerâmica), compensa-se a durabilidade das superfícies não for um requisito essencial, dado que os modelos resultantes são frágeis, mesmo depois do obrigatório acabamento térmico.¹⁴

Numa outra metodologia, destacam-se dois principais processos de carácter subtractivo e que utilizam sistemas de subtração, remoção, ou desbaste de material, recorrendo ao controlo simultâneo de dois, ou mais eixos de acção: *CNC-cutting* (2D) e *CNC-milling* (3D), respectivamente. O primeiro consiste num processo de fabrico bidimensional, sendo provavelmente a tecnologia de manufactura assistida por computador mais utilizada, devido ao seu custo acessível e à capacidade de produzir objectos de dimensão considerável.

Relativamente ao segundo processo, este fabrica objectos tridimensionais, tendo sido já usado para a produção de diversos componentes finais de construção (tais como paredes de pedra, moldes para cofragens de betão armado, moldes para modelação de vidro, etc.).

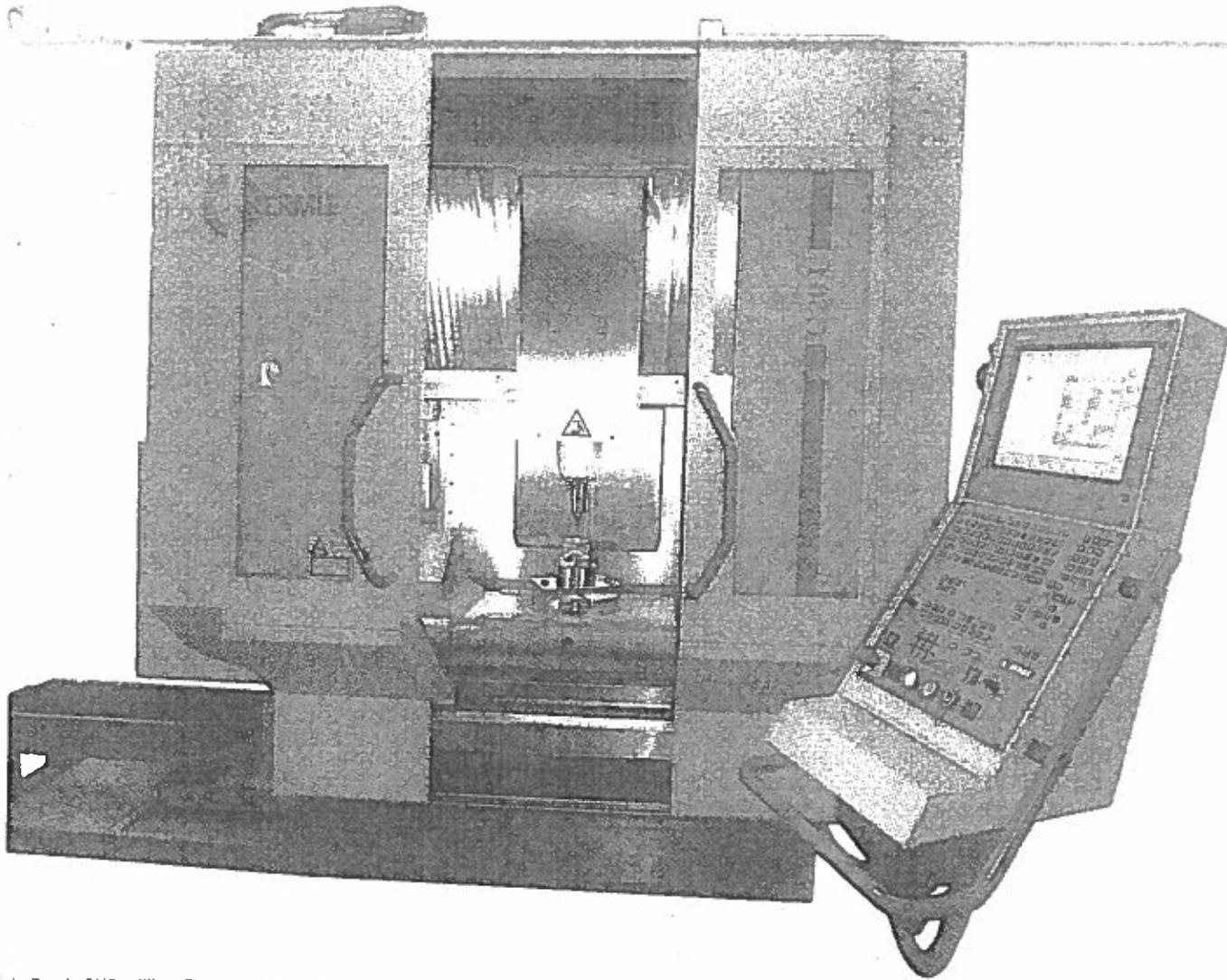
A última das metodologias anteriormente referidas relaciona-se com os processos formativos, que não adicionam nem subtraem material, consistindo na sua deformação, também ela controlada numericamente por computador, geralmente denominados por *CNC-bending*. O processo ocorre sobretudo mediante a acção mecânica e/ou por aquecimento e permite a produção de componentes finais de construção realizados à escala real.

Note-se que, contendo em si toda a informação necessária tridimensional digital é, como fomos enfatizando, condição e, ao mesmo tempo, imprescindível para a sua própria produção. Assim, a computação – modelação geométrica de modelos digitais garante, automaticamente, a exequibilidade da manufactura/construção, superando constrangimentos impostos pela geometria euclídiana e pela lógica da repetição. Como sintetizado por José Pedro Sousa e Gonçalo Furtado, "com as tecnologias de manufacturação [...] decorrem mecanismos de materializar a informação proveniente da realidade sintética em aplicações CAD, estabelecendo uma ligação directa e efectiva do projecto, propriamente dito e a construção [...] criando condições de uma revisão de alguns conceitos que se tornaram dominantes e de standardização."¹⁵ Em suma, as tecnologias digitais permitem, de facto, um enquadramento favorável à "personalização em série". Conceito este que insinua que o fabrico de componentes diferenciados pode ser financeiramente equivalente à produção em série de objectos idênticos, superando os constrangimentos impostos pelo impasse da standardização. E tal comporta, como facilmente se percebe, significativas repercussões no mundo da Arquitectura.

4. Técnicas de Construção

Pode deduzir-se que a concepção de formas geometricamente complexas, digitalmente concebidas, aponta em sentido lato para um reposicionamento da técnica, da tectónica e da construção de arquitectura. Para indagar e considerar a construção de formas *'non-standard'*, diferencie-se também aqui as estratégias de fabrico tridimensional e as de fabrico bidimensional. Relativamente às primeiras, dadas as reduzidas dimensões dos objectos possíveis de produzir com os referidos processos de fabrico tridimensionais, verifica-se mais frequentemente a sua utilização em detalhe arquitectónico ou, ainda, para a produção de elementos enquanto componentes de um todo. Aqui, a volumetria inicial é dividida em partes menores – os componentes –, variando a sua dimensão consoante a tecnologia utilizada. Obtidas as peças finais, assiste-se ao montar de um enorme *puzzle* tridimensional, que configura a volumetria final. Por vezes, para a sua montagem *in loco*, recorrem-se igualmente, a tecnologias digitais.¹⁶

Numa outra perspectiva, o recurso a processos de fabrico bidimensionais obriga, necessariamente, a uma reinterpretção da volumetria inicialmente concebida. Procura-se obter um volume (tridimensional) através de uma sucessão de elementos bidimensionais, sendo beneficiadas as aproximações geométricas que melhor descrevem a forma tridimensional inicial. De acordo com Branko Kolarevic, "as estratégias de produção usadas na fabricação 2D incluem, geralmente, o contorno, a triangulação (ou a *'tessellation'* poligonal) o uso de *'ruled'*, *'developable surfaces'* e o desdobraimento. Toda a informação envolvida na extracção de componentes bidimensionais, planas ou superfícies ou sólidos, geometricamente complexos e definidos



de 5 axis CNC-milling. Processo Subtractivo de Controlo Numérico Computadorizado.

o edifício. Qual destas estratégias é usada depende daquilo que se pretende definir construtivamente: a estrutura, a fachada, uma combinação dos dois, etc."¹⁷

Em conclusão, gostaríamos de constatar que observando algumas tendências nas formas não-euclidianas, geometricamente complexas, que têm vindo a surgir ao longo do último século na História da Arquitetura, verifica-se que, efectivamente, muitas foram produzidas através de elementos bidimensionais e estratégias geométricas simples.¹⁸ Neste sentido, as estratégias referidas por Kolarevic

não seriam novidade e/ou exclusividade da utilização das tecnologias digitais na concepção de arquitetura. No entanto, estas vieram, indubitavelmente, torná-las mais acessíveis à prática quotidiana do 'arquitecto comum', sugerindo vários caminhos possíveis para a construção de formas 'non-standard'. Saliente-se, assim, o papel que a tecnologia computacional possui ao permitir considerar, repensar, modelar e construir novas geometrias de modo cada vez mais empírico e intuitivo. Por tudo isto, o impacto ao nível da prática e também das linguagens da Arquitetura poderá ser, no mínimo, significativo. ■

em Portugal, o governo implementou o computador 'Magalhães', que nasceu numa parceria com a 'Intel'. Note-se que a 'Intel' se desvinculou recentemente do projecto 'One Laptop Per Child'.

NTE, Nicholas, *Ser Digital*, Lisboa: Caminho, 1996 [1995].

Gonçalo, "Arquitetura e Sociedade da Informação", in: FURTADO, Gonçalo (ed.), *Arquitetura e Sociedade da Informação*, Porto, FAUP: 2002, pág.9.

Lisboa, BRAGA, Fernando, SIMÃO, Manuel, NETO, Rui e DUARTE, Teresa, *Prototipagem Rápida*, Porto: ProtoClick, 2001, pág.10

que não são de ordem funcional, programática, tipológica, geométrica, ambiental, estrutural, financeira, etc.

Gonçalo, "Arquitetura e Sociedade da Informação", in: FURTADO, Gonçalo (ed.), *Arquitetura e Sociedade da Informação*, Porto, FAUP: 2002,

em: FURTADO, Gonçalo, "Interferências do Digital na Arquitetura" (Tese de Mestrado), Barcelona: Universidade Politècnica da Catalunya, 2000.

Lisboa, William e MCCULLOUGH, Malcolm, *Digital Design Media* (2ª ed.), Nova Iorque: Wiley, 1995 [1991], pág.133.

Lisboa, Branko (ed.), *Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age*, Nova Iorque: Taylor&Francis, 2003, pág.15.

HER, Patrick, "From Drawing to Scripting" in O1 AKAD, "Experimental Architecture and Design - Beginnings", Royal Institute of Technology, 2005. Disponível em: <http://patrickschumacher.com>.

10 LISBOA, Fernando, *Desenho de Arquitectura Assistido por Computador*, Porto: FAUP Publicações, 1997, pág.13.

11 MITCHELL, William e MCCULLOUGH, Malcolm, *Digital Design Media* (2ª ed.), Nova Iorque: Wiley, 1995 [1991], págs.427-431.

12 ALVES, Fernando, BRAGA, Fernando, SIMÃO, Manuel, NETO, Rui e DUARTE, Teresa, *ProtoClick - Prototipagem Rápida*, Porto: ProtoClick, 2001, pág.72.

13 ALVES, Fernando, BRAGA, Fernando, SIMÃO, Manuel, NETO, Rui e DUARTE, Teresa, *ProtoClick - Prototipagem Rápida*, Porto: ProtoClick, 2001, pág.62.

14 Outros processos de prototipagem rápida estão em desenvolvimento, embora muitos se assemelhem aos já enunciados, apresentando-se como meras variações sobre o mesmo método, muitas vezes patenteadas. Importa referir, em particular, o processo *Electron Beam Melting* (EBM), que fabrica peças metálicas pela fusão de pó metálico, através de um feixe de electrões, num espaço em vácuo. Ao contrário de SLS, os modelos finais são totalmente sólidos (livres de 'buracos') e extremamente resistentes.

15 FURTADO, Gonçalo e SOUSA, J. Pedro, "Espaço real e espaço virtual" in *Arquitetura e Vida*, vol. 20, Outubro de 2001b, pp.127.

16 Frank Gehry, *Guggenheim Museum*, Bilbao, Espanha, 1997.

17 KOLAREVIC, Branko (ed.), *Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age*, Nova Iorque: Taylor&Francis, 2003, pág.43.

18 Ainda sem poder recorrer à maquinaria controlada por computador, os ditos edifícios foram construídos, muitas vezes, obedecendo a regras geométricas regradas, que afinal são relativamente simples, quando equacionadas perante a sua complexa aparência.