

IV enanparq

Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo
Porto Alegre, 25 a 29 de Julho de 2016

Arquitetura algorítmica: Técnicas, processos e fundamentos

**SESSÃO TEMÁTICA: PROJETO DIGITAL E FABRICAÇÃO NA ARQUITETURA:
ENSINO, PESQUISA E DESAFIOS**

Gonçalo Castro Henriques
Universidade Federal Rio de Janeiro, LAMO, Prourb
gch@fau.ufrj.br

Arquitetura algorítmica: Técnicas, processos e fundamentos

RESUMO

A utilização das ferramentas e processos digitais (CAD-CAE-CAM) abre novas possibilidades que questionam a atual metodologia de projeto em arquitetura. Este artigo reflete sobre o papel do digital baseando-se na experiência acadêmica, profissional e de pesquisa do autor. O artigo apresenta uma síntese sobre o papel do digital em arquitetura que faz parte de uma disciplina de programação visual em arquitetura (MDA/FAU-UFRJ). Esta síntese reflete sobre a aplicação do digital em arquitetura nas últimas décadas, as características da geometria computacional e sobre o design algorítmico. A evolução do digital além de apresentar exemplos construídos aborda a aplicação das diferentes técnicas de fabricação existentes. Na geometria computacional são comparadas as características da geometria tradicional, com as geometrias não-euclidianas e a geometria topológica. Finalmente para introduzir o aluno no design algorítmico são identificados os princípios base do funcionamento do computador e da computação. Esta introdução pretende mostrar a necessidade de uma visão integrada do digital em projeto para uma relação mais próxima entre a arquitetura, a indústria de construção e a pesquisa aplicada. Finalmente o artigo pretende levar esta discussão um pouco mais longe refletindo sobre a utilização do computador como instrumento e como processo, aludindo á diferença entre computadorização e computação (Terzidis, 2004). Argumenta que, não só é possível combinar estas duas perspectivas, como a sua combinação é essencial para assegurar uma metodologia analógico-digital integrada, capaz de suportar o design algorítmico.

Palavras-chave: Integração Digital. CAD-CAE-CAM. Design algorítmico.

Algorithmic Architecture: Techniques, Processes and fundamentals

ABSTRACT

The use of digital tools and processes (CAD-CAE-CAM) opens up new possibilities that question the current design methodology in architecture. This article reflects about the role of the digital on the academic, professional and research experience of the author. The article presents an overview of role of the digital in architecture that is part of a visual computation discipline in architecture (MDA / FAU-UFRJ). This overview reflects about the digital application in architecture in recent decades, the characteristics of computational geometry and about algorithmic design. The evolution includes built examples about the implementation of manufacturing techniques. Computational geometry is compared with traditional geometry definition, with the non-Euclidean geometries and topological geometry. Finally to introduce the student in algorithmic design the basic principles of computer operation and computation are identified. This introduction aims to show the need for an integrated vision of the digital in design for a closer relationship between architecture, construction industry and applied research. Finally, the paper intends to take this discussion one step further by reflecting about the use of the computer as a tool and as a process, alluding to the difference between computerization and computation (Terzidis, 2004). It argues that not only is it possible to combine these two perspectives, as their combination is essential to ensure an integrated analog-digital approach, necessary to withstand the algorithmic design.

Keywords: Digital integration. CAD-CAE-CAM. Algorithmic Design.

Introdução

A evolução das técnicas e dos processos digitais e a crescente integração digital permite explorar novas estratégias de projeto. Tanto as técnicas como os processos beneficiam de um desenvolvimento matemático e computacional que pode alterar significativamente «o *modus operandi*» da disciplina de arquitetura. Tratando-se de áreas desconhecidas para muitos arquitetos torna-se útil analisar e interpretar as transformações que vem acontecendo nesta área. Este texto começará por apresentar um resumo sobre a evolução da aplicação do digital na academia e na indústria, resumindo a maneira como o computador vem sendo utilizado nas últimas décadas. Num segundo momento analisará a evolução da geometria computacional e do desenho paramétrico. Para tal tratará de comparar as características da geometria clássica com a geometria desenvolvida utilizando o digital, beneficiando dos desenvolvimentos da geometria não euclidiana (hiperbólica, esférica), diferencial e topológica. Embora o desenvolvimento da geometria computacional seja mais associado com os avanços da gráfica digital, será destacada o desenvolvimento da base matemática e associativa da geometria topológica. Finalmente como base para a utilização da programação visual em arquitetura são identificadas os fundamentos do funcionamento dos computadores numa introdução aos princípios da computação.

1 Arquitetura Digital

1.1 Breve análise histórica da Arquitetura Digital

A análise sobre o digital que é apresentada tem como referência bibliografia de autores como Kolarevic, Mitchell, Oxman, Duarte, Celani, entre outros e é complementada com exemplos práticos de projetos concebidos, desenvolvidos e fabricados digitalmente, incorporando experiência própria desenvolvida pelo autor.

Quando nos anos 80's os meios digitais foram introduzidos na indústria e na academia o computador pretendia substituir o lápis, o compasso e o esquadro utilizando os mesmos processos de projeto. Sendo o computador utilizado na fase final de projeto para representar em 2D de uma forma mais rápida e produtiva os desenhos feitos pelos processos tradicionais.

Numa segunda fase no final dos anos 80 os meios computacionais começaram a ser utilizados para comunicar melhor o projeto através da modelação tridimensional procurando esta ferramenta representar a realidade da maneira mais realística possível. Num certo sentido tratava-se de antecipar o resultado final e de o comunicar ao cliente. Os processos

de representação tridimensionais eram utilizados normalmente após o projeto estar terminado no fim do processo criativo.

Uma terceira face no início dos anos 90 o computador começou a ser utilizado como parte do processo criativo surgindo processos generativos como o Morphing, modelação paramétrica, sistemas evolutivos em que computador passou a ser utilizado em projeto para encontrar soluções múltiplas, que não eram previsíveis *a priori*. Deixa assim de ser utilizado apenas na fase final de projeto. Entre os exemplos destacam-se projetos de arquitetos como Greg Lynn, Karl Chu, Kaas Oosterhuis, NOX, etc.

No início dos anos 90 surge a possibilidade de construir diretamente utilizando o computador. Essa possibilidade surge através do desenvolvimento das ferramentas CAD-CAM-CAE. Ou seja a utilização da concepção assistida por computador (CAD) associa-se à manufatura assistida por computador (CAM) e engenharia Assistida por computador (CAE), o que permite construir edifícios com geometrias diferenciadas. Um exemplo é o edifício "music experience" de Seattle do arquiteto Frank Gehry que apresenta uma geometria não *standard* de painéis diferenciados numa geometria complexa, sobre o que escreve Shelden (2002). Realizar este projeto utilizando apenas os processos tradicionais resultaria numa construção demorada, complexa e dispendiosa. Neste caso, como em outros exemplos apresentados, as ferramentas digitais permitem conceber a geometria, que é modelado no computador e pode ser diretamente fabricada utilizando máquinas de corte controladas numericamente (CNC). As linhas desenhadas passam a ter consequências diretas no mundo físico, deixando de ser apenas linhas de representação para passar a ser as linhas de corte e de execução de projeto.

Atualmente, numa quinta fase surgiram desenvolvimentos ligados à robótica. Os avanços da robótica permitem manufaturar os componentes de edifícios, montar e colocar no lugar cada um dos componentes de edifícios e executar o seu acabamento final (soldagem, pintura, polimento) substituindo os trabalhadores na obra. Coop Himmelb(l)au exemplifica a utilização do digital na montagem completa de um edifício em Shenzhen em 2015, num projeto em que sugere que todas as fases do projeto até ao acabamento podem ser automatizadas.

1.2 Processos fabricação e a Arquitetura Digital

Após a síntese recente do digital foram identificados os processos e as técnicas que permitem ligar entre a concepção digital com a manufatura e fabricação digital. Para melhor se entender a sua aplicação das técnicas recorreu-se a exemplos construídos mostrado

como estes processos tem alterado a relação tradicional entre indústria de construção e a arquitetura.

Utilizando os computadores é possível transformar informação numérica em forma, através da fabricação digital. Segundo Kolarevic estas tecnologias podem ser divididas em técnicas aditivas, subtrativas e deformativas, existindo técnicas mais recentes de construção designadas por montagem robótica. De uma maneira geral estas técnicas utilizam a informação digital do desenho para efetuar operações, tornando possível construir diretamente aquilo que se desenha. Tanto nos processos aditivos como subtrativos as linhas correspondem a percursos de depósito ou de corte do material utilizando máquinas de controlo numérico (CNC) ainda que utilizando diferentes tecnologias de corte com laser, plasma, fresadora, etc.

As técnicas aditivas de impressão 3D adicionam matéria de acordo com o modelo digital por camadas verticais. Entre os exemplos apresentados destacou-se a sua aplicação na continuação do Projeto da Sagrada Família, desenvolvido por Mark Burry desde o final dos anos 90. A impressão 3D apesar de possibilitar uma grande precisão, estava limitada dimensionalmente a pequenos formatos do tipo 30x30x30cm, o que se limitou a utilização de protótipos à escala ou pequenos. Foram abordados desenvolvimentos que permitem antever a construção de edifícios inteiros à escala real; nomeadamente os exemplos de construção em grande escala de concreto de Behrokh Khoshnevis (projeto MIT Contour Crafting, 2009) e Enrico Dini (Projeto agregado resina “Radiolária”, 2009). Foram depois apresentados exemplos da técnica subtrativa, nomeadamente no corte 2d utilizando corte a plasma, laser, fresadora, com projetos de Kaas Oosterhuis (Web of North-Holland, Haarlemmermeer 2002). Neste projeto o pensamento construtivo utilizou a racionalização geométrica para tornar factível um edifício com uma geometria curva. Foi abordada a subtração 3D, recorrendo à prática de Frank Gehry (Zollhof Towers, Dusseldorf, 2000). Nesse edifício foram utilizadas técnicas de desbaste ou milling 3d para obter os moldes das fachadas e das fundações de geometria variável em concreto armado. Os moldes foram fabricados em EPS com um enchimento em concreto. Finalmente foram abordadas as técnicas de deformação que alteram a geometria da matéria. Foi dado o exemplo de um edifício pioneiro de Bernhard Franken (the bubble, Frankfurt 1999). Neste edifício com a forma de duas bolhas coalescentes, os vidros possuem uma geometria variável de dupla curvatura. Para os fabricar foi utilizada uma técnica de desbaste para obter moldes em EPS rum processo de deformação térmica para obter a geometria variável dos painéis de vidro-acrílico pretendidos. Ainda relativamente às técnicas de deformação foi apresentado o exemplo do pavilhão Bernhard Franken “The Wave” (Munich, 2000) que utilizou calandras

para deformar perfis metálicos com geometrias variáveis. Foram apresentados exemplos de deformação de superfícies metálicas de Frank Gehry, como a Marta Museum (Hartford, 2005). Finalmente foram apresentadas aplicações utilizando braços robóticos que permitem realizar várias técnicas descritas anteriormente. Nomeadamente a adição de material (impressão 3d), corte 2d/3d e a deformação de chapa utilizando braços robóticos com ventosas.

Dentro dos processos digitais foram destacados os exemplos da integração digital entre conceção e fabricação digital da indústria automóvel e aeronáutica. Em paralelo foram referidas as possibilidades de construção utilizando braços robóticos ou drones para construir paredes de alvenaria de geometria variável, não *standard* no ETH de Zurique. Foi feita uma reflexão sobre os processos tradicionais de construção que utilizam mão-de-obra intensiva e que representam um esforço físico, em que a personalização resultava num custo mais elevado face à produção em série. Comparativamente os novos processos digitais apresentam a promessa da personalização em massa como alternativa à produção em série da era industrial.

Na figura 1. é comparado o processo de conceção e produção sequencial dominante na construção na era industrial e um processo integral assíncrono que é possível conseguir graças à integração digital. No primeiro esquema um problema de projeto partia de um problema, formulando uma solução, desenvolvendo uma solução e finalmente construindo essa solução.

Pelo contrário no processo digital integrado os processos CAD-CAE-CAM, estimulam um desenvolvimento não linear de projeto por tentativa e erro.

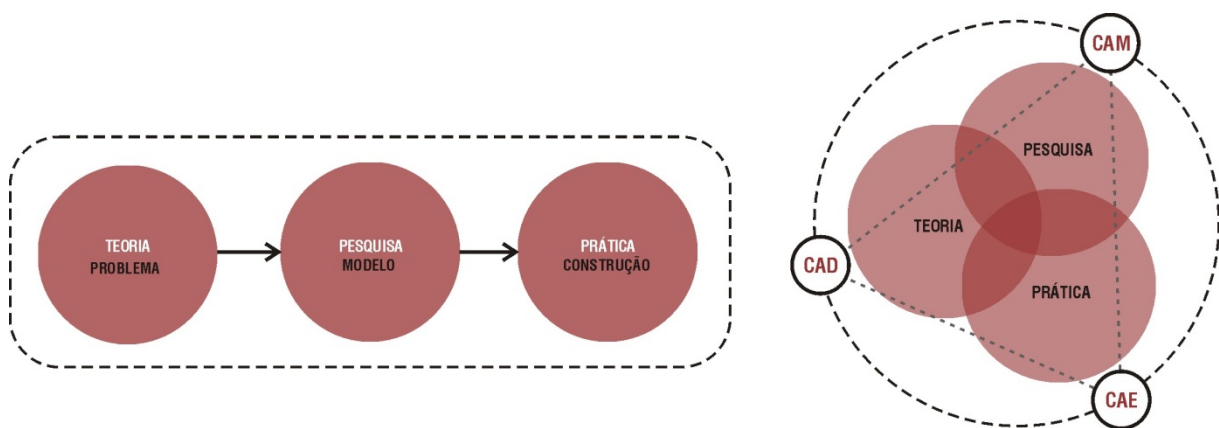


Figura 1 Processo sequencial pós revolução industrial na arquitetura; Processo integrado: revolução digital, processos não lineares assíncronos, fonte tese Henriques, 2013.

2. Geometria e evolução digital

2.1 Da geometria Euclidiana à geometria topológica

Foi apresentada uma síntese da evolução de conceitos geométricos desde a geometria euclidiana até à geometria topológica (Figura 2). Foram destacadas as diferenças dentro das técnicas de computação gráfica necessárias para descrever estes dois tipos de geometria, a euclidiana e a topológica. A geometria topológica é baseada em definições matemáticas mais evoluídas, assegurando maior continuidade e precisão, que permite uma maior complexidade e continuidade geométrica.

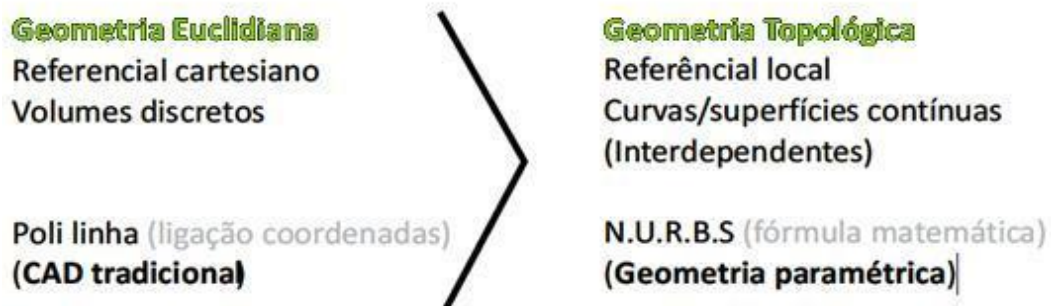


Figura 2 Comparação entre geometria euclidiana e topológica, Henriques, 2013.

Foi referida a evolução gráfica das primitivas geométricas da linha até à spline originalmente aplicada na indústria naval e depois desenvolvida na indústria automóvel, nomeadamente na Citroen em meados do séc. XX. Foi também referida a evolução matemática até às curvas NURBS definidas por equações matemáticas, que permitem um controlo e uma precisão que favorecem a fabricação digital e têm sido desenvolvidas nas indústrias automóvel e aeronaval.

Outra questão importante nestes dois tipos de geometria são os referenciais que estão associados. A utilização de uma referência global ou local afeta a maneira como projetamos e definimos a geometria e o espaço. No referencial cartesiano os pontos são definidos por coordenadas por absolutas X,Y e Z a num espaço neutro e absoluto (ver figura 3).

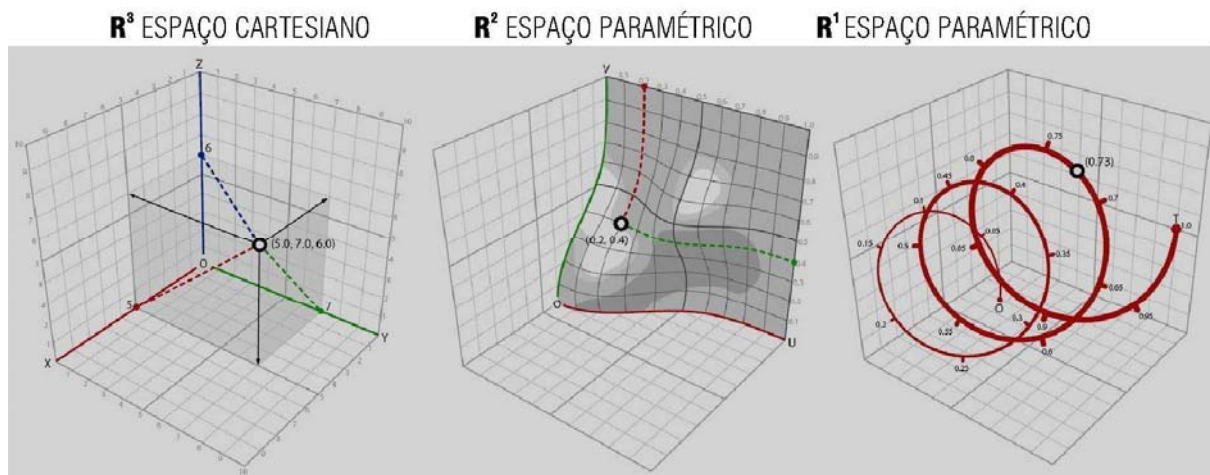


Figura 3, Referencial cartesiano e espaço paramétrico de 2 e 1 dimensão; Fonte: David Rutten 2004.

No espaço paramétrico os pontos são definidos relativamente a espaços locais, um exemplo é o espaço paramétrico de duas dimensões de uma superfície (figura 3). Ambos os espaços contêm uma infinidade de pontos. No entanto enquanto podem passar todos os pontos os contidos na superfície para o espaço absoluto o inverso não é verdadeiro. O espaço paramétrico de uma dimensão é o espaço de uma curva sendo que o parâmetro da distância está no espaço que está entre o ponto inicial e o ponto final da curva.

Foi abordada também a evolução gráfica e matemática do desenho computacional. Uma curva composta por arcos é diferente de uma curva contínua tipo spline, ainda que possam ser visualmente idênticas. Enquanto a primeira se alterarmos o raio para fazermos uma curva composta teremos que alterar os raios das curvas adjacentes para termos uma curva contínua, numa spline se alterarmos uma parte da curva toda a outra se modificará.

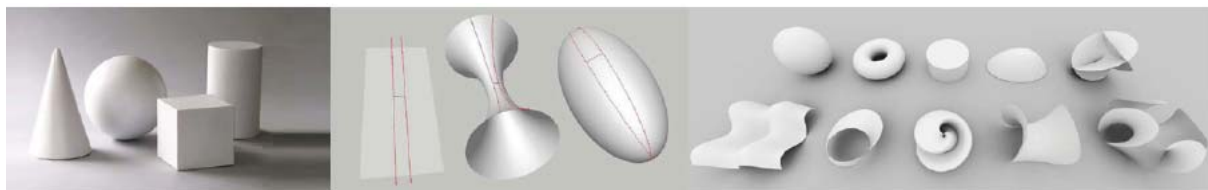


Figura 4: Primitivas geométricas da geometria euclidiana (Séc. II a.C.), paralelismo na geometria plana, hiperbólica e esférica (Séc. XIX); geometria diferencial (Séc. XIX). Imagens Henriques, 2013.

2.2 Desenho associativo e paramétrico

O desenho associativo considera as qualidades quantitativas e relacionais entre primitivas. É assim um tipo de descrição que está para além das simples definição métrica por medidas. No desenho associativo e paramétrico, em vez de medidas são utilizados parâmetros relacionais e qualitativos. Se definirmos uma curva e a dividirmos por exemplo

em 3 comprimentos iguais e fizermos passar nesses pontos retas com a qualidade, de serem perpendiculares nesses pontos, estamos a estabelecer relações associativas entre elementos geométricos. Numa definição associativa ao alterarmos a curva base pelos seus pontos de controlo, os pontos de divisão são recalculados e as retas perpendiculares são automaticamente redesenhadas nesses pontos. Se utilizarmos uma definição apenas espacial de coordenadas teremos que redesenhar cada um destes passos manualmente, num trabalho mais repetitivo e demorado.

A evolução da geometria diferencial permitiu além de curvas contínuas criar superfícies contínuas baseadas nessas curvas. As qualidades dessas geometrias foram estudadas em topologia. Um exemplo de uma das superfícies mais estudadas é banda de Moebius. A topologia propõe definições diferentes da geometria euclidiana relativamente às qualidades das superfícies: se observarmos um donut e uma xícara em topologia são o mesmo objeto. Se pudermos transformar um até fique igual ao outro sem partir ou quebrar, temos o mesmo objeto. Na geometria euclidiana seriam objetos diferentes. Passamos assim de objetos isolados para famílias parametricamente relacionadas. A matemática século XIX das geometrias diferencial e infinitesimal permitiu desenhar novas famílias superfícies como hiperbólicas, parabólica, esféricas, etc. (Figura 4).

Através de curvas nurbs podemos obter superfícies nurbs. Esta base é explicada aos alunos na disciplina de programação visual em arquitetura. Assim as primitivas de modelação incluem vários tipos de variáveis. As superfícies são espaços locais a partir dos quais se podem retirar uma infinidade de curvas que se pretenda.

Como conclusão da introdução geométrica é apresentada na disciplina uma tabela que separa as superfícies planificáveis das não planificáveis (Luís Mateus 2003), o que é importante para saber como fabricar digitalmente estas superfícies. É destacada a separação entre as superfícies regradas e as superfícies curvas focando na geração dessas mesmas superfícies, expandindo o repertório geométrico, mas com a preocupação de o relacionar com a fabricação digital.

2.3 Ligação Geometria> fabricação digital

Finalmente foi explicado como o maior rigor geométrico das NURBS favorece a manufatura assistida por computador. Foi referido o trabalho percussor de Frank Gehry no edifício "o peixe", em Barcelona em 1992. Este autor terá sido o primeiro a procurar uma ligação direta entre conceção e fabricação digital, adaptando para a arquitetura um *software* originário da indústria aeronaval, o *Cátia*. Foram apresentados outros exemplos da fabricação de geometrias complexas recorrendo a projetos do autor.

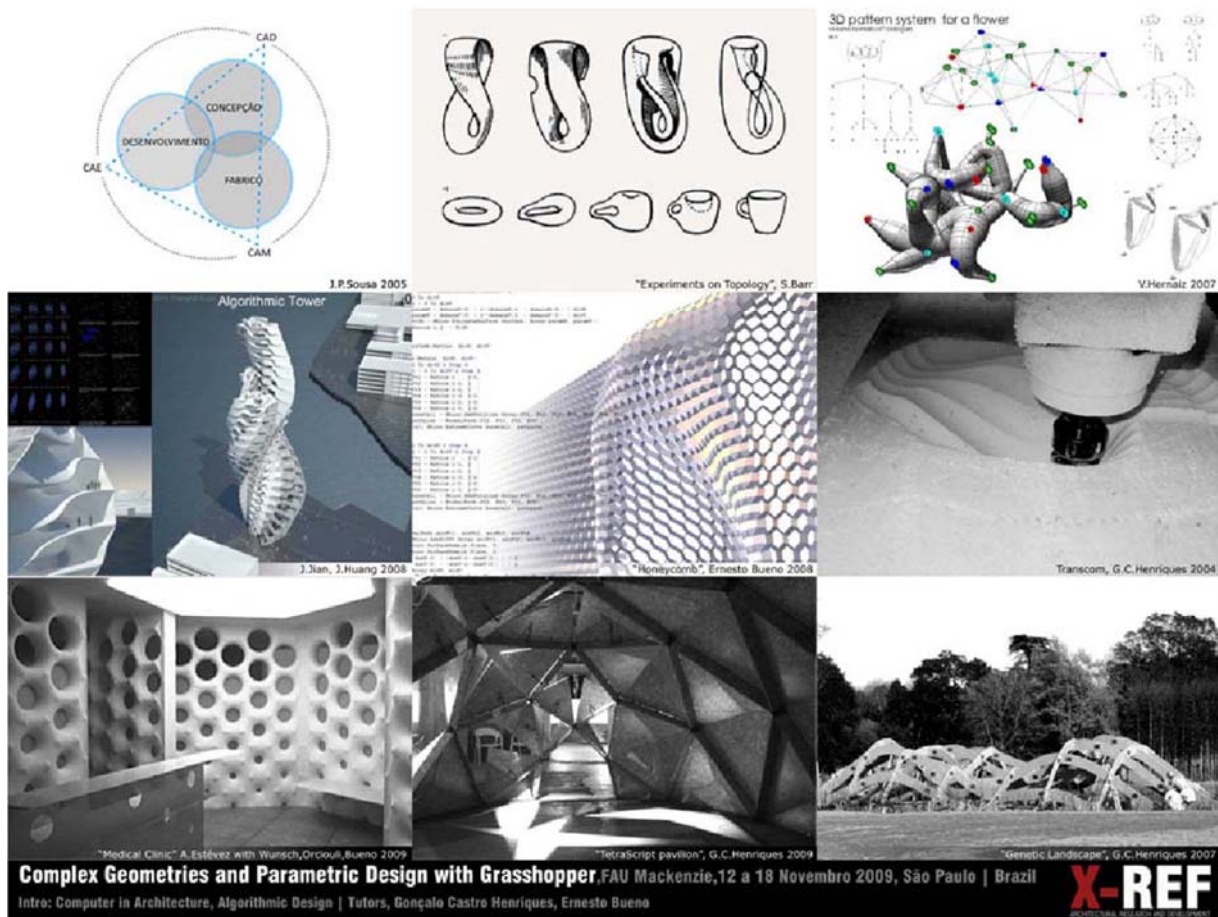


Figura 5 Geometria complexa e design paramétrico, resumo de apresentação sobre programação visual em grasshopper no SIGraDi 2009, o primeiro workshop sobre o tema na América Latina, Gonçalo Henriques e Ernesto Bueno, Mackenzie 2009.

3. Design algorítmico

O resumo anterior pretendeu mostrar como as ferramentas e os processos digitais afetam o projeto. No entanto para haver uma utilização sistémica da computação é necessário compreender como funciona o computador e quais as suas características. Nesse sentido é apresentado depois aos alunos um resumo sobre os princípios e a evolução da computação.

3.1 O computador como máquina abstrata

Conceber máquinas capazes de diminuir trabalho repetitivo humano é um desejo antigo. Na Idade Média pensava-se em máquinas de leitura que através de um sistema de roldanas permitiram ler vários livros sequencialmente numa engrenagem rotativa. Na era industrial sonhou-se com máquinas de pensamento capaz de ajudar o homem nas suas tarefas através de mecanismos eletromecânicos.

Entretanto no séc. XVII Leibniz sonhava com uma compilação enciclopédica com linguagem matemática universal capaz de expressar o conhecimento humano, com regras de cálculo revelariam todas as inter-relações lógicas entre proposições. Sonhou com uma máquina

capaz de realizar cálculos, libertando a mente humana para o desenvolvimento criativo (Davis, 2000).

3.2 Cálculo e lógica

Leibniz pensou numa máquina capaz de resolver proposições lógicas. Naquela época para resolver um problema era frequente recorrer a duelos armados. Utilizando a máquina proposta por Leibniz e sabendo os argumentos de cada um dos oponentes seria possível determinar qual estaria certo evitando assim o duelo, que pode ser fatal num duelo bélico .

Este autor terá também sido responsável pela calculadora analógica. Foi inventada por Leibniz uma calculadora analógica em 1643 e relativamente ao primeiro computador analógico de cartões perfurados não são máquinas substancialmente diferentes Enquanto a calculadora analógica realizava apenas operações aritméticas de soma, subtração, multiplicação e divisão o computador analógico além destas operações realizava proposições lógicas de verdadeiro falso.

Foi depois explicada qual a estrutura lógica de um computador. Nomeadamente que opera com operações lógicas (verdadeiro falso conjunção e de disjunção entre outras). Utiliza algoritmos, que podemos comparar a uma receita culinária. O Algoritmo descreve o conjunto de ingredientes necessários e as quantidades necessárias assim como a série de etapas que conduzem ao resultado esperado, no caso o prato culinário pretendido.

Os computadores funcionam com informação utilizando variáveis. As variáveis são como caixas negras situadas algures no computador e que armazenam informação. A informação é chamada quando é realizado uma ação com essa variável. A caixa poder conter um número inteiro, decimal, expressão booleana, valor alfanumérico mas pode ser também uma curva, superfície ou outro tipo de primitiva geométrica. Existem diferentes ações ligadas a cada tipo de variável. Os algoritmos organizam ações, variáveis utilizando estruturas condicionais. Estas estruturas permitem criar ciclos repetitivos associados a processos de decisão entre outros. Foram ainda apresentados alguns exemplos de algoritmos. Algoritmos escritos em texto (Vb.net) e algoritmos visuais como os do Grasshopper. Aí a estrutura condicional é graficamente visível e utiliza variáveis e operações definidos explicitamente para obter resultados. Foram identificados alguns exemplos de utilização de conjunto objetos como sistemas todos entre armação e ciclos repetitivos. Um dos exemplos foi Estádio «Bird-nest» desenhado por Herzog & Meuron na China (2002-8). Neste exemplo foi explicado com o design algoritmo foi utilizado na geração, simulação, preparação da informação e fabricação digital. Sem a sua utilização este projeto dificilmente seria possível, sendo inviável a conceção e a construção devido ao tempo e recursos necessários.

3.3 Design algorítmico e tradicional

Finalmente nesta introdução apresentada na disciplina de MDA era feita uma reflexão acerca do modo de produção arquitetónica. A partir da renascença, desenhar bem era uma das características necessárias para ser um bom arquiteto porque permitia controlar à partida o resultado final. Agora utilizando as novas técnicas computacionais e os processos digitais nem sempre os resultados finais são pré-configuráveis à partida. A representação – um dado adquirido no mundo digital - deixou assim de estar no centro de projeto, ganhando importância a manipulação de informação nos vários processos através até ao projeto construído.

4. Computorização, computação e design algorítmico

Entre processos e técnicas digitais

“Computação é um termo que difere, mas é frequentemente confundido com computorização. Enquanto a computação é o processo de calcular, ou seja, determinar algo por métodos matemáticos ou lógicos, computorização é o ato de entrada, processamento ou armazenamento de informações num computador ou sistema computacional. Computorização diz respeito à automatização, mecanização, digitalização e conversão. Geralmente envolve a digitalização de entidades ou processos que são pré-concebidos, predeterminados e bem definidos. Em contraste, a computação diz respeito à exploração de processos indeterminados, vagos, pouco claros e frequentemente mal definidos; devido à sua natureza exploratória, a computação visa emular ou estender intelecto humano. Diz respeito à racionalização, uso da razão, lógica, algoritmos, dedução, indução, extrapolação e estimação. Em sua implicação múltipla, envolve a resolução de problemas, estruturas mentais, cognição, simulação e regras inteligentes, para citar apenas alguns.”¹

Esta citação foi retirada de um texto em que Terzidis esclarece a diferença entre computorização e computação, duas abordagens que apesar de serem distintas são frequentemente confundidas. Como é um tema abordado por poucos entende-se ser útil clarificar a diferença entre as duas abordagens através de uma tabela.

¹ Tradução do autor de texto original de TERZIDIS, Kostas, *Algorithmic Architecture, Expressive Form*, Spon Press, Taylor & Francis Group, 2003, pp. 65-73.

COMPUTORIZAÇÃO

COMPUTAÇÃO

Processo design

Interpretação subjetiva e percepção
Informação qualitativa
Sensibilidade artística criativa
Parte de princípios mais formalistas
Geometria focada na representação

Redução racional
Redução da informação não quantificável
Escolha determinística ou orientada
Parte de princípios, instruções mais abstratos
Geometria focada na geração

Métodos

Métodos precursores
Filtrar, reorganizar, recompilar informação
Nova aparência ou organização
Preferencialmente dedutivo
Situação atual

Novos métodos
Gerar e administrar nova informação
Métodos precisos, racionalistas, determinísticos
Dedutivo e/ou indutivo

Modo dominante, comum

Modo dominado, minoria 'literato digital'

Ferramentas

Instrumentais controladas
Investigação com o computador
Automação, mecanização, repetição
Exemplo: *software* específico CAD

Processuais orientadas
Computação, mesmo sem computador
Automação de processos generativos complexos
Exemplo: redes neuronais, algoritmos genéticos

Digitalização

Necessariamente envolvida
Envolve a passagem de informação analógica para o meio digital do computador

Não necessariamente envolvida
Há algoritmos sem computador, como a máquina Turing, os autómatos celulares, fractais de Mandelbrot

Exploração natural ou invenção artificial

Exploração, Procura algo que existe
Arte de descobrir: é natural
Permite estender o raciocínio
Natural: um reflexo da ordem existente

Invenção, criar algo novo, por inventar Imaginação e ingenuidade: é artificial
Permite criar o imaginável, o imprevisível
Artificial: uma descoberta humana

Estilo

Estilo individual, mestre, grupo ou região
Determinado por intuição e talento individual
Limitado pelo *software* e pela tecnologia
Uso da técnica pode resultar em maneirismo

Estilo centrado no processo ou objetivo
Não é necessariamente pré-determinado
Exige programar, depende menos do *software*
Alienígena pode resultar estranho

Autoria/ Resultado

Definida, autor com controlo tangível sobre ideias e formas resultantes

Indefinida ou repartida autor-programador, formas imprevistas ou inimagináveis

Tipo de sistema

Preferencialmente hierárquico
Hierárquico, do todo para o geral
Exemplo: ordens gregas

Emergente, regrado ou hierárquico Se emergente, do particular para o geral
Exemplo: gramática forma, algoritmos genéticos

Tabela 1: Resumo das diferenças entre Computorização e Computação. Síntese dos argumentos desenvolvidas por Kostas Terzidis, Henriques 2013.

Segundo Terzidis, tanto no processo tradicional de design como na computorização é valorizada a interpretação subjetiva e a sensibilidade artística para desenvolver o objetivo, o projeto. Na computorização são utilizados programas para compilar, organizar e filtrar informação. Nesse sentido, o computador é visto como a ferramenta ideal para substituir processos lentos, tediosos e repetitivos. Tanto no processo tradicional como na computorização é frequente a utilização da análise dedutiva para encontrar uma solução para um problema de projeto. Também é frequente a solução estar pré-configurada antes de ser representada no computador. O modo preferencial de uso do computador nestes

processos é como uma ferramenta com um desempenho definido. Neste caso a ferramenta para além de permitir desempenhar uma operação adquire o sentido «conotativo» de mecanismo de controlo, implicando poder e dominância artística. Essa dominância artística também está na base do artesanato tradicional. No entanto enquanto a computorização envolve a digitalização, ou seja, a passagem de informação analógica para o meio digital, tal não acontece na computação que pode ser realizada sem computadores.

Por outro lado, segundo autores como Oxman e Terzidis, há ainda uma visão superficial sobre a computação, em que esta é encarada apenas como a capacidade racional e determinística para resolver problemas. Tal pode explicar porque a computação ainda é pouco utilizada para resolver problemas de composição formal. Como nos processos tradicionais de composição são a intuição e a criatividade que são valorizadas, tal também pode explicar porque a computação é vista com desconfiança, como algo estranho e distante. Terzidis destaca a importância do algoritmo na computação. Apesar de se poder argumentar que a computação é um processo antigo, com milénios (Henriques, 2013), o conceito de algoritmo só foi estabelecido formalmente por Alan Turing (Teorema Turing-Church, 1935). Kurt Gödel mostrou que existem limites na computação e que há problemas não computáveis. Os sistemas artificiais foram inicialmente diferenciados por serem fechados, como as primeiras máquinas. No entanto com o advento da teoria dos sistemas foram desenvolvidos processos que tal como os sistemas vivos, se adaptam através do processo de feedback. Estes contributos complementam a abordagem lógica dos sistemas formais, permitindo o desenvolvimento de diferentes tipos de algoritmos. Terzidis distingue entre dois tipos de algoritmos: os **algoritmos previsíveis** e os **algoritmos indutivos**.

A utilização mais frequente do algoritmo é como procedimento determinístico, ou como **algoritmo previsível**. No entanto existem outros tipos de algoritmos, os **algoritmos indutivos** que permitem explorar processos generativos simulando fenómenos complexos. Permitem assim gerar o inimaginável, o imprevisível e o que não pode ser pré-configurado. Este tipo de algoritmos indutivos estão na base da Teoria da Emergência proposta por Weinstock (2004). Esta teoria mostra como a partir de pequenas leis entre as partes de um sistema se podem obter resultados complexos. Um exemplo da utilização de algoritmos indutivos, ou emergentes é a utilização de algoritmos genéticos. Outro exemplo é a utilização das redes neuronais para simular o funcionamento do cérebro humano e que utilizam para além de algoritmos genéticos, a lógica difusa e os métodos probabilísticos de Bayes. O que distingue estes algoritmos dos mais comuns é que não são previsíveis, apresentando padrões de raciocínio e resultados que podem surpreender até os próprios criadores.

A utilização dominante do computador atualmente segue o modo da computorização, sendo a aplicação da computação ainda limitada, o que resulta em que os designers retirem ainda pouca vantagem destes novos recursos (Duarte, Terzidis, Oxman). Frequentemente ainda se confunde a utilização da representação tridimensional no computador com a utilização da computação. Enquanto a pesquisa e desenvolvimento de software implica técnicas computacionais extensivas, o uso de modelos tridimensionais desenhados manualmente com o rato não utiliza a computação. O mesmo acontece com o uso de curvas e superfícies NURBS. Apesar de estas resultarem de um importante desenvolvimento computacional, não são sinónimo da utilização da computação, sendo que a modificação através dos pontos de controlo de superfícies NURBS é apenas uma transformação geométrica afim.

Terzidis propõe uma alternativa dialética para ultrapassar a diferença entre as estratégias opostas, da computorização e da computação: o projeto algorítmico. Argumenta que tal envolve a utilização de programas de software para gerar espaço e forma incorporando regras arquitetónicas como tipologias e códigos de construção. Em vez de programação direta, no projeto algorítmico é possível codificar as intenções de projeto utilizando linguagens de programação disponível em software de modelação tridimensional. O projeto algorítmico não erradica as diferenças entre computação e computorização, mas pode incorporar a complexidade computacional e o uso criativo dos computadores. A utilização destes dois campos em simultâneo pode também evitar quer o formalismo quer o racionalismo, possibilitando criar formas inteligentes e criativas.

Segundo Terzidis, os métodos algorítmicos de pesquisa na exploração de composições formais são utilizados desde meados dos anos setenta. Começaram por ser utilizadas as gramáticas da forma e a geometria computacional continuando depois com a exploração das propriedades topológicas e dos morfismos. Ainda que o desenho algorítmico em arquitetura seja um fenómeno recente, com início nos anos 90², há exemplos anteriores de projeto com gramáticas da forma, com modelos matemáticos e propriedades topológicas, assim como sistemas genéticos anteriormente. Os processos algorítmicos exploraram o invulgar, o imprevisível e as propriedades e comportamentos das formas. O uso da computação pode refundar a perspetiva tradicional focada na representação, para explorar novas possibilidades através de sistemas formais. Terzidis distingue na evolução do design algorítmico três momentos: a fase operativa, a fase paramétrica e a fase algorítmica, o que

² Neste caso deverá ser utilizada a palavra Design já que se refere a desenho no sentido de projeto. Resumo baseado em conferência de Kostas TERZIDIS, ETH de Zurique, colóquio MAS, 2007. Disponível em <http://wiki.arch.ethz.ch/asterix/pub/MAS0607/MasColloquia/Lecture01.pdf> em 1 Junho 2011.

mostra uma crescente consciencialização do papel da computação. Esta sequência de momentos está descrita na figura 6 abaixo.

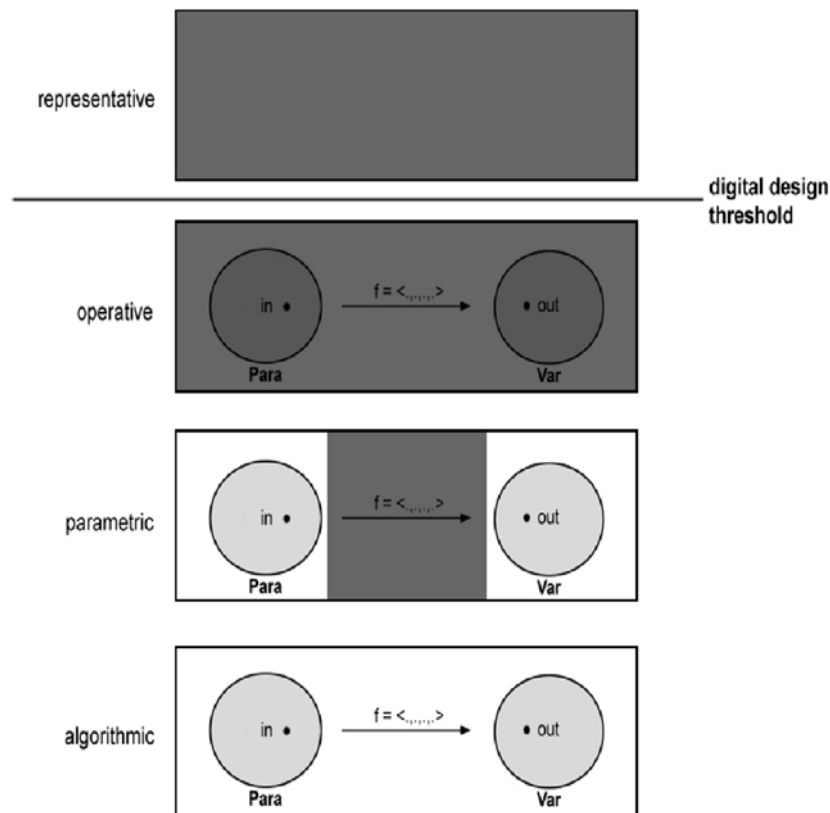


Figura 6 Fases do design algorítmico na arquitetura, Kostas Terzidis 2006.

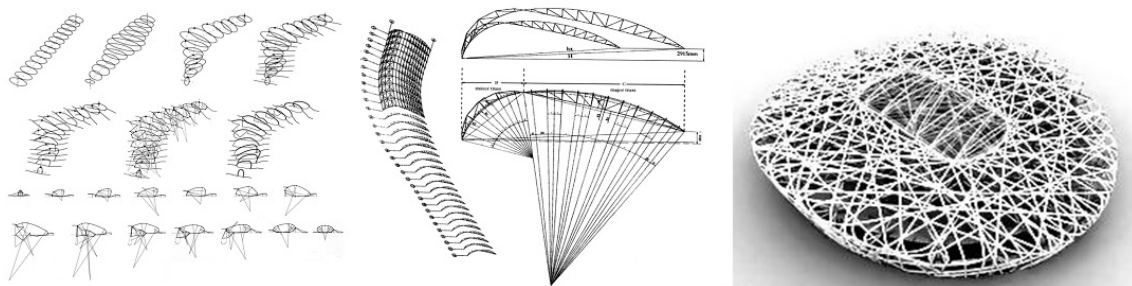


Figura 7: Projetos exemplificativos das três fases do desenho algorítmico, 2007. Fase operativa: Pavilhão da água, Lars Spuybroek (1998); Fase Paramétrica: Estação de Waterloo, Nicholas Grimshaw (1993); Fase Algorítmica: Estádio Ninho de pássaro, Herzog & Meuron (2007). Imagens Kostas TERZIDIS 2006.

Como exemplo destas três fases, na Figura 7 são apresentados três projetos. No primeiro projeto são utilizados recursos formais das NURBS para definir manualmente as secções curvas que definem a forma exterior do projeto para o pavilhão da água (Spuybroek, 1998). No segundo projeto as potencialidades matemáticas das NURBS são exploradas através da

definição de uma equação paramétrica para uma seção da cobertura da estação de Waterloo que depois adquire diferentes parâmetros (Grimshaw, 1993). Finalmente no terceiro projeto a computação é utilizada explicitamente, definindo um algoritmo que efetua o entrelaçamento de perfis e que depois é completado com uma rotina computacional para planificar e identificar cada uma das peças do estádio Birds' Nest em Pequim (Herzog e de Meuron, 2007). Estes exemplos permitem clarificar a evolução de uma definição implícita para o uso explícito da computação.

5 Discussão: Sobre o design algorítmico

O termo Parametricismo vem adquirindo um destaque entre os arquitetos da nova geração - ao ponto de ser considerado um novo estilo por Schumacher (2008) – o que tem afastado a atenção de questões importantes de projeto como a diferença entre ferramentas e processos, entre computorização e computação. A computação estabelece uma rutura relativamente aos métodos tradicionais baseados em processos implícitos e artísticos, onde o autor tem tradicionalmente uma grande relevância. A computorização mantém algumas destas características de projeto. A computação destaca os processos, tendo o arquiteto um papel de controlo indireto da forma. A discussão entre instrumentos e processos aviva uma velha discussão das ciências e das artes, se o mundo é uma descoberta ou uma invenção. Os baconianos diriam ser uma descoberta os cartesianos ser uma invenção. Ou seja uns diriam que através da dedução que se chega aos fatos enquanto outros diriam ser através da indução.

Esta diferença não existe somente entre computorização e computação. Na própria computação existem algoritmos indutivos e dedutivos, definindo estruturas hierárquicas e emergentes. A caixa branca racional do algoritmo previsível e a caixa negra do algoritmo indutivo. Tanto uma como a outra podem contribuir para o projeto de design. Mark Burry afirma que a caixa negra do algoritmo deve ser vigiada pelo arquiteto (2011). Utilizar computorização e computação, equivale a considerar que o software não pode eliminar definitivamente, nem substituir totalmente o hardware. Como se o imanescente, o virtual necessitasse do carnal, do material. Como se a arquitetura não pudesse esquecer uma prática ligada ao fazer com raízes no craft, do trabalho a partir das ferramentas e do material físico, da chamada computação analógica. A integração de ferramentas e processos - das novas tecnologias- é um processo demorado em arquitetura, mas necessário para resolver problemas de complexidade crescente, em que a informação aumenta exponencialmente. Talvez esta reflexão contribua para lembrar que apesar de ser difícil encontrar uma receita

única para o problema, que tal como afirma Mário Carpo, os arquitetos estão na vanguarda da investigação aplicada sobre o digital.

O design algorítmico vem recolocar a discussão de projeto nos princípios geradores da forma. Aparentemente o design paramétrico parece mais interessado na discussão de quais são os parâmetros fundamentais em projeto. Contrariamente o design algorítmico está mais interessado no verbo, ou seja em criar, fazer, inventar seja através de instrumentos ou processos. Recentemente Rem Koolhaas destacou “os fundamentos” escolhendo esse tema para a bienal de arquitetura de Veneza em 2014. Peter Eisenman argumenta que nos fundamentos propostos por Koolhaas estão excluídos os verbos a metalinguagens de projeto. Ora os verbos, a ação, o fazer estão na génese da disciplina da arquitetura. Este artigo apresenta alguns reflexões e conclusões que decorrem da prática, mas que procuram ainda uma fundamentação teórica mais sólida. Aborda a fundamentação do digital reclamando a necessidade de uma visão integrada entre teoria e prática e de um sentido disciplinar mais abrangente. Como afirma Sola-Morales (2002) a nossa disciplina avança por desterritorialização e re-territorialização de áreas de conhecimento que lhe são externas. A arquitetura ao excluir a tecnologia e a sua integração em projeto pode ameaçar a sua própria existência. Pelo contrário ao aceitar o design algorítmico na sua dimensão dual aceita que é possível não só explorar, como inventar novas possibilidades virtuais, imanentes e ultra reais em simultâneo, numa nova realidade tecno-temporal.

Bibliografia principal

BURRY, Mark, Architecture and Practical Design computation, em computational design thinking, MENGES, Achim e AHLQUIST, Sean, 2011

CARPO, M. The Alphabet and the Algorithm. 1o ed. Cambridge, Mass.; London: The MIT Press, 2011.

DUARTE, José; DUCLA-SOARES, Gonçalo e Sampaio, ZITA, Digital Design: the Quest for New Paradigms: 23rd eCAADe Conference Proceedings, Technical University of Lisbon, Portugal, 2005.

DAVIES, Martin, O Computador Universal, tradução Maria Alice Gomes da Costa, Lisboa, Editora Bizâncio, 2004.

DUARTE, José Pinto, Celani, Gabriela, Pupo, Regiane, “Inserting computational technologies in architectural curricula”, em Gu, Ning and Wang, Xiangyu (ed.), Computational Design Methods and Technologies: Applications in CAD, CAM and CAE Education, Hershey, PA: IGI Global, 2011.

EISENMAN, Peter, Entrevista Valentina Ciuffi, revista Dezeen, 9 Junho 2014. Disponível em www.dezeen.com/2014/06/09/rem-koolhaas-at-the-end-of-career-says-peter-eisenman

HENRIQUES, Gonçalo Castro, Bueno, Ernesto, "Geometrias Complexas e Desenho Paramétrico", "Vitruvius/Drops" nº 30 Romano Guerra, 2009. Disponível em: www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/10.030/2109.

HENRIQUES, Gonçalo Castro, Tese de Doutoramento Europeu (2013) Tetra Script: Sistema de aberturas responsivo para controlar a luz, de acordo com fatores externos e internos, tese apresentada FAUTL, Lisboa a 24 Junho 2013. Orientação José Duarte (FAUL) e Vítor Leal (FEUP).

KOLAREVIC, Branko, Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age, Spoon Press Taylor & Francis Group, NY, 2003.

MITCHELL, William, A Lógica da Arquitetura. Projeto computação e cognição, tradução de Gabriela Celani, Editora UNICAMP-Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2008.

TERZIDIS, Kostas, Algorithmic Architecture, Expressive Form, Spon Press, Taylor & Francis Group, 2003.

TURING, Alan, "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem", proceedings of the London Mathematical Society, 2 42, 1937.

OXMAN, Rivka, "Theory and Design in the First Digital Age", em Design Studies, Vol. 27 No. 3, 2006.

SOLÀ-MORALES, Ignasi de, Territórios, Gustavo Gili, Barcelona, 2002.

SCHUMAKER, Parametricism as Style - Parametricist Manifesto, London 2008. Presented and discussed at the Dark Side Club1, 11th Architecture Biennale, Venice 2008. Disponível em: www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm

WEINSTOCK, Michael, Menges, Achim, Hensel, Michael, "Morphogenesis and the Mathematics of Emergence" em Emergence: Morphogenetic Design Strategies, Vol. 74 N.3, Southern Gate, Chichester UK, Willey Sons LTD, 2004.