

MOMENTOS DE INOVAÇÃO E ENGENHARIA

VOLUME I EM PORTUGAL NO SÉCULO XX **CONTEXTO**

COORDENAÇÃO | MANUEL HEITOR | JOSÉ MARIA BRANDÃO DE BRITO | MARIA FERNANDA ROLLO



DOM QUIXOTE

Interface(s) entre arquitectura e engenharia: a invenção do problema e a criação de novos processos tecnológicos

João Rocha
Luísa Gama Caldas

Prelúdio

Uma possível interpretação da história conjunta da arquitectura e da engenharia será uma história sobre a criação de interfaces, do estabelecimento de correlações entre a realidade e fundamento de conceitos e as tecnologias que os constituem. O interface entre engenho e obra reside quer na inteligência da formulação do problema, quer no contexto de investigação para a descoberta de novos domínios de conhecimento. Filippo Brunelleschi é tanto o criador da cúpula do Duomo de Santa Maria del Fiore em Florença como das máquinas que permitiram construí-la¹.

Este ensaio tenta mostrar, através de três obras no domínio da arquitectura, engenharia e escultura, a afinidade existente entre a criação de conceitos e a invenção de processos tecnológicos que os materializam.

Paradigma

Uma condição cultural contemporânea, caracterizada por sistemas de comunicação globais e por manifestações de arte e tecnologia experimentais, caracteriza-se igualmente por ser uma sociedade da computação, uma sociedade num período de transição. Jean-François Lyotard veio a denominar este fenómeno como "The Postmodern Condition". Lyotard menciona: "the status of knowledge is altered as societies enter what is known as the postindustrial age and cultures enter what is known as the postmodern age. This transition has been under way since at least the end of the 1950s, which for Europe marks the end of the reconstruction"², e Michel Foucault caracterizou este momento de transição como um de ruptura. Foucault refere: "the problem is no longer one of tradition, of tracing a line, but one of division, of limits, it is no longer one of lasting foundations, but one of transformations that serve as new foundations, the rebuilding of foundations"³.

¹ Filippo Brunelleschi (1337-1446) foi o vencedor do concurso realizado em 1418 para o desenho e construção da cúpula do Duomo de Florença (1296-1436).

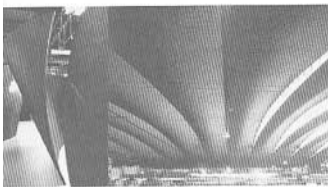
² Lyotard, Jean-François [1984]. *The Postmodern Condition*. Manchester University Press [edição original, 1979].

³ Foucault, Michel [1969]. *The Archeology of Knowledge*. Routledge.

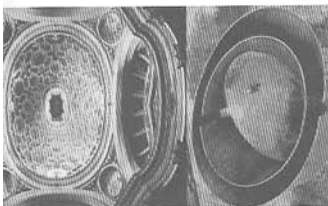
A possibilidade de se criar um entendimento entre estes momentos passará também por reinterpretar as palavras de Thomas Kuhn, que refere: "The transition from a paradigm in crisis to a new one from which a new tradition of normal science can emerge is far from a cumulative process [...] rather it is a reconstruction of the field from new fundamentals."⁴

Na disciplina da arquitectura, um modo de se realizar a legitimação de um novo paradigma é permitir a sua interligação conceptual, teórica e tecnológica com outros campos disciplinares. Assim, novos processos computacionais, incluindo os generativos, e novos processos de manufatura assistidos por computador poderão permitir uma renascida práxis. Como escreve Italo Calvino: "Nas alturas em que o reino do humano me parece mais condenado ao peso, penso que como Perseu deveria voar para outro espaço. [...] Quero dizer que tenho de mudar o meu ponto de vista, tenho de observar o mundo a partir de outra lógica, e outros métodos de conhecimento e de análise."⁵

Conceito



[1] Torqued Ellipses no Dia Center, Nova Iorque, e Armazém Julio Herrera y Obes, Montevideo



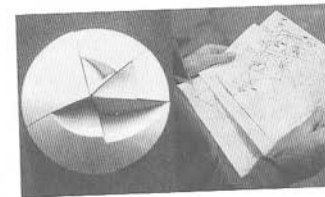
[2] Espaço Elíptico: cúpula da Igreja de S. Carlo alle Quattro Fontane, Roma e Torqued Ellipses

As obras do arquitecto dinamarquês Jørn Utzon, do engenheiro inglês Ove Arup, do engenheiro uruguaio Eládio Dieste e do escultor norte-americano Richard Serra são representativas da relação entre investigação formal e investigação tecnológica [1]. Respectivamente, a emblemática Ópera de Sydney, trabalho de parceria entre Utzon e Arup, o armazém Julio Herrera y Obes⁶ de Dieste e as esculturas *Torqued Ellipses* de Serra⁷ [2], [3] são exemplos da materialização de conceitos espaciais arquitectónicos através da aplicação de princípios construtivos inovadores.

As palavras de Eládio Dieste sugerem como a construção de uma obra se torna antes de mais um meio para uma descoberta individual. Dieste refere: "He procurado ser coherente con las exigencias de mi trabajo. Hacerlo bien. Ello me ha llevado a un camino de descubrimiento, primero de mi mismo."⁸ Este desejo de coerência existencial e criativa encontra também eco no pensamento de Richard Serra: "What interests

me is the opportunity for all of us to become something different from what we are, by constructing spaces that contribute something to the experience of who we are."⁹ Com as ideias de Serra e Dieste relacionam-se também o pensamento de Ove Arup, que se notabilizou por uma inovadora procura estrutural relacionando arquitectura e engenharia. Arup refere: "Whereas the pursuit of science used to be considered foremost as a means of finding the truth, so much so, that truth can only be defined in relation to the state of scientific knowledge at any given time, now the emphasis has shifted towards considering science as a means of achievement. We can almost define the scientific way of doing a thing as the successful way of doing it. If it isn't successful it isn't the fault of science, it is because we did not use enough science."¹⁰

Para além de uma preocupação formal em relacionar ciência, tecnologia e arte por parte destes criadores, o que igualmente os une, foram os seus percursos profissionais que muitas vezes se definiram fora das suas próprias disciplinas. Ove Arup dedicou-se inicialmente à filosofia e só posteriormente decidiu estudar engenharia. Tem o primeiro emprego em Hamburgo na companhia *Christiani & Nielsen* especializada na construção de estruturas portuárias, mudando-se depois para Londres, no início dos anos 20. Jørn Utzon, filho de um arquitecto de construção naval, adquire experiência de desenho e de construção de modelos para barcos, e transporta essa experiência para as obras que irá realizar. Richard Serra passou parte da sua infância em oficinas de metalurgia e estaleiros navais, e baseou muito do seu trabalho numa constante procura de tornar matéria em espaço escultórico. Eládio Dieste, que no pós-guerra também trabalhara para a companhia *Christiani & Nielsen*, era um estudioso de fundamentos da natureza e um inventor de máquinas. Percursos multidisciplinares que transformam as suas obras em pioneiras referências de sínteses tecnológicas e culturais.



[3] Ópera de Sydney em construção e secção de Torqued Ellipses at Beth Ship, Maryland, EUA

Processo

Entre as obras referidas, *Torqued Ellipses* de Richard Serra é a que melhor representa a construção de um conceito através de contexto computacional. *Torqued Ellipses*, conjunto de esculturas criadas como resposta ao convite que em 1994 o *Dia Center for the Arts* em Nova Iorque lhe dirigiu, constitui-se como uma obra paradigmática da relação entre arte, tecnologia e computação. Este trabalho materializa em forma escultórica a percepção da espacialidade elíptica da cúpula que o arquitecto italiano Francesco Borromini desenhara para a Igreja de San Carlo alle Quattro Fontane, em Roma¹¹. Serra observou a espacialidade do interior da Igreja como a criação de uma

⁴ Kuhn, Thomas. [1996]. *The Structure of Scientific Revolutions*. The University of Chicago Press, Chicago, p. 85. [edição original, 1962].

⁵ Calvino, Italo [1990] *Seis Propostas para o Próximo Milénio*. Editorial Teorema, Lisboa, p. 21.

⁶ Armazém com um vão livre de 50 m e constituído por uma cobertura de cerâmica armada com apenas 130 mm de espessura. Montevideo, Uruguaí.

⁷ Ópera de Sydney [1957-1973]; Armazém Julio Herrera y Obes [Montevideo: 1979]; *Torqued Ellipses* [1998].

⁸ Dieste, Eládio [1998]. in *AV Monografías - Anuario Yearbook*, Espanha.

⁹ Entrevista com Lynne Cooke. <http://www.diacenter.org/exhibits/serra/essay.html>

¹⁰ Citação em trabalho de tese do autor [a publicar].

¹¹ Roma: 1638-44.

ilusão que se forma da periferia para o centro [4]. O espaço elíptico é perceptível de diferentes modos e surgiu a ideia de criar um espaço que simultaneamente envolva e afaste o observador. Serra recorreu assim à sobreposição de duas elipses e efectuando uma rotação dos seus eixos afastados por uma altura z , inicia a experimentação de um modelo para o espaço escultórico que



[4] Modelo para a geometria da cobertura da Ópera de Sydney

queria realizar. A união das geratrizes entre duas elipses não coplanares gera uma superfície de antecipada complexidade e originalidade através de processo de trabalho manual que ainda carece de uma descrição rigorosa, matemática, para que possa ser construído.

Richard Serra, quando confrontado com a necessidade de planificar esta nova superfície através de um modo geométrico rigoroso, contactou Rick Smith, engenheiro do arquitecto norte-americano Frank Gehry¹³, no sentido de encontrar métodos computacionais capazes de descrever matematicamente a sua nova superfície.

Desse modo, Smith forneceu-lhe o *software* que o atelier de Gehry usava para a modelação e descrição tridimensional de superfícies¹⁴, permitindo assim a Serra iniciar um processo de desenho e manufactura computacional. Através do uso desta plataforma computacional, Serra conseguiu criar uma descrição precisa da geometria das suas peças e obteve as linhas de força a aplicar na superfície de aço de modo a que esta obtivesse a curvatura desejada. Na altura, nenhuma siderurgia tinha produzido placas de aço com estas dimensões e geometria, e foi em Maryland, EUA, que Serra encontrou uma companhia de construção naval, *Beth Ship*, com capacidade tecnológica para executar o trabalho. *Torqued Ellipses* são superfícies autoportantes com peso superior a 100 toneladas. Richard Serra comenta sobre a intenção que o levou a criar este trabalho: "This is a form not seen before [...] They challenge your memory. They are unlike any space you know. Since you don't have any threshold experience to go back to, you are relegated to your experience in the space."¹⁵ Existência de um espaço onde a aquisição de matéria sensorial surge como resultado experimental e simultaneamente como obra de arte.

Processos computacionais

A arquitectura, como campo disciplinar, encontra-se perante o desafio de integrar diferentes contextos tecnológicos, nomeadamente os computacionais, os quais têm vindo progressivamente a alterar os vários processos de se realizar arquitectura. Exemplo dessas alterações pode ser verificado pelo crescente número de companhias de desenvolvimento de *software* que procuram conceber os seus programas de um modo flexível, adaptado às necessidades de cada arquitecto. Um

¹³ Frank Gehry, arquitecto, autor, entre outros projectos, do Museu Guggenheim em Bilbao, Espanha.

¹⁴ CATIA, *software* desenvolvido pela Dassault Systems para a indústria aeroespacial e usado inicialmente para a concepção do avião *Mirage F1*. CATIA foi introduzido no atelier de Frank Gehry em 1988.

¹⁵ Serra, Richard [1997], *Torqued Ellipses*. Dia Center for the Arts, New York, NY. Edited by Lynne Cooke and Karen Kelly, pp. 18-19.

dos melhores exemplos destas parcerias é a investigação conjunta da *Bentley Systems*¹⁶ com o atelier do arquitecto inglês Norman Foster, e da *Dassault Systems* com o atelier do arquitecto Frank Gehry, onde programadores e arquitectos desenvolvem plataformas computacionais comuns.

Em geral, o desenvolvimento destas plataformas tem seguido na direcção de possibilitar a representação de geometrias complexas, com alto grau de precisão e facilmente alteráveis. Combinar representações geométricas complexas e rigor tornou-se assim num importante objectivo de investigação e desenvolvimento computacional onde a necessidade de maior flexibilidade geométrica (não euclidiana) promoveu o desenvolvimento de sistemas paramétricos que, utilizando pontos de controle, permitem uma fácil alteração da geometria, respeitando as relações topológicas existentes.

Para além do desenvolvimento de *software* de representação, modelação e simulação, as tecnologias de Prototipagem Rápida e de CAD/CAM utilizam informação em formato numérico extraída de modelos computacionais, para dirigir o processo de manufactura, permitindo produzir modelos físicos, a partir de modelos digitais, a uma escala reduzida (protótipos) ou perto da escala natural (*mock-ups*). Isso possibilita não apenas a produção de elementos que anteriormente seriam difíceis de executar, como também influencia o próprio processo de concepção, que se vê hoje liberto de muitos dos condicionalismos anteriormente existentes.

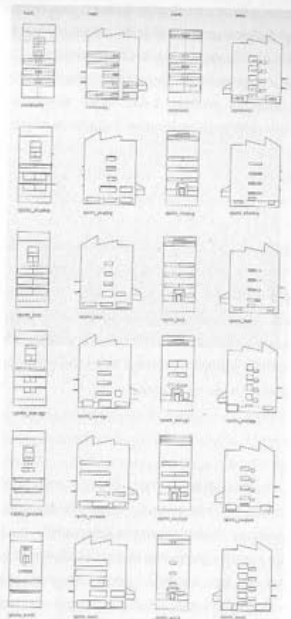
Processos generativos

O impacto da utilização de métodos computacionais na criação de novas obras é tanto mais significativo quanto mais for indissociável da concepção do conceito original. Nesse sentido, sistemas computacionais generativos, que simulam processos evolucionários e adaptativos num ambiente computacional, constituem um método que permite aumentar as possibilidades conceptuais e formais do projecto. Na base destes sistemas está uma inversão do processo normal de *design*, utilizando-se por isso o termo *inverse design* ou *goal-oriented design*, onde se evolui por tentativa e erro, cenário após cenário.

A aplicação e o uso de sistemas generativos, que se caracterizam pela manipulação flexível da geometria através de modelos paramétricos através do método de procura escolhido, implica a definição em termos geométricos e topológicos de um universo de procura, dentro do qual algoritmos baseados em métodos de inteligência artificial são utilizados para criar soluções que se aproximem de determinadas intenções arquitectónicas.

Num outro nível de abstracção, um modelo computacional é uma descrição de uma estrutura de informação. É possível manipular essa informação para modificar a forma, tal como o ADN controla a forma natural. Os algoritmos genéticos são métodos particularmente adaptáveis à evolução formal por processos adaptativos, devido ao modo particular como representam, cruzam e manipulam informação. No entanto, de modo a melhor compreender a evolução morfológica artificial, será importante recorrer ao estudo de sistemas naturais e investigar o modo como a forma tridimensional é codificada na informação genética, uma área ainda não muito explorada dentro da embriologia (*morphogenesis*).

¹⁶ Companhia inglesa que desenvolve e comercializa o programa *Microstation*.



13 | Soluções de projecto geradas pelo sistema generativo. Variações de alçados para uma das torres da Faculdade de Arquitectura da FAUP (best, average, existent and worst solutions)

O uso de sistemas generativos em arquitectura está ainda numa fase experimental. As aplicações mais desenvolvidas até ao momento são as de Shea¹⁴ na área das estruturas, Monks¹⁵ na área da acústica, e Caldas¹⁶ na área do comportamento energético de edifícios. Caldas e Rocha¹⁷ desenvolveram uma aplicação de um sistema generativo a um edifício de Álvaro Siza e estudaram pela primeira vez a questão da integração de linguagem e intenções arquitectónicas num sistema computacional generativo deste tipo [5].

O uso de programação relacionada com a concepção de sistemas generativos e tecnologias CAD/CAE/CAM¹⁸ afirma-se assim como um domínio de método projectual e que pode contribuir para a compreensão e construção de uma "Terceira Cultura"¹⁹. As escalas de observação são hoje distintas. Operamos à escala digital, *nano*, *macro*, *pico*, e torna-se relevante perceber como se caracteriza e como se pode manipular criativa e criticamente esta nova [i]mensurabilidade.

Portugal

No início do século XX o Movimento Moderno, com a fundação da Bauhaus por Walter Gropius, com a influência de Le Corbusier através de *Vers une Architecture*²⁰, e de Moisei Ginzburg com *Style and Epoch*²¹, veio a permitir

que obras realizadas na transição do século XIX para o século XX por engenheiros como Eugene Freyssinet, Robert Maillart ou Peter Behrens se tornassem também ícones de obras de arquitectura. Fábricas, pontes, barcos, aviões entraram para um imaginário arquitectónico, tornando

os seus criadores visionários de uma nova época. Um dos grandes contributos do Movimento Moderno foi possibilitar que domínios que nunca tinham sido considerados capazes de influenciar a intrínseca cultura da arquitectura passassem agora a fazer parte do seu quotidiano. Legitimadas como contemporaneidade, estas novas obras iriam influenciar um pensamento arquitectónico distante da tradição da escola das *Beaux-Arts* e iriam alicerçar uma nova promessa de arquitectura que iria subsistir até aos finais dos anos 50.

No início do século XX, a disciplina da arquitectura em Portugal ainda se debatia com questões ecléticas e de (in)dependência formal relacionadas com a(s) ideologia(s) do Estado Novo. O arquitecto Raul Lino traz consigo influências estéticas inglesas e alemãs, mas não as transporta de raiz para as obras que iria realizar em Portugal, onde uma ideologia nacionalista seria o contraponto para uma reflexão que pretendia identificar o que poderia constituir uma arquitectura portuguesa. Se a primeira metade do século XX foi caracterizada por obras de Keil de Amaral, Cristiano da Silva, Cassiano Branco e Cotinelli Telmo, a segunda distinguiu-se por um período onde surgiram contribuições teóricas sobre o que significaria pensar e edificar uma arquitectura contemporânea de raiz portuguesa. Resistência à importação de modelos internacionais. Em 1947, Keil do Amaral refere pela primeira vez a necessidade de se elaborar uma reflexão sobre a arquitectura regional portuguesa e simultaneamente, na revista *Arquitectura*²², é iniciada a publicação de uma vasta série de projectos de famosos arquitectos do Movimento Moderno Internacional. Ainda em 1947, o arquitecto Fernando Távora publica *O Problema da Casa Portuguesa* onde defende que, para além de se estudar a arquitectura internacional, se deve reflectir sobre a individualidade da arquitectura portuguesa e, em 1948, o Congresso Nacional de Arquitectura assiste ao surgimento de um novo pensamento arquitectónico com vontade autónoma de se distanciar da influência estética do Estado Novo e de procurar uma maior identidade e expressão formal. Nascido do congresso de 47, o "Inquérito à Arquitectura Regional Portuguesa"²³, liderado por Keil do Amaral, veio a constituir, quando da sua publicação em 1961, um documento fundamental, quer na divulgação de um património arquitectónico porventura pouco conhecido, quer como influência para uma geração de novos arquitectos²⁴.

Ao "Inquérito" não será distante uma possível relação com o estudo de George Kubler *A Arquitectura Portuguesa Chã. Entre as Especiarias e os Diamantes*²⁵, trabalho de referência sobre a cultura arquitectónica erudita portuguesa (séculos XVI-XVIII). O que une estes trabalhos poder-se-á sintetizar no que o arquitecto Alexandre Alves Costa referiu sobre as características da arquitectura portuguesa: "estranha serenidade"; mínimos meios para o máximo efeito, simplicidade, economia de recursos, ausência ornamental, grande coerência estrutural, criatividade quase chã, e que pode reencontrar uma continuidade em obras recentes como o Pavilhão de Portugal para a Expo'98 de Álvaro Siza Vieira, ou a ponte sobre o rio Douro de Edgar Cardoso.

¹⁴ Shea, K. & Cagan, J. [1998], "Generating Structural Essays from Languages of Discrete Structures". In *Artificial Intelligence in Design '98*, Gero, J. and Sudweeks, F. (Eds), Kluwer Academic Publishers, London, pp. 365-404.

¹⁵ Monks, M., Oh, B., Dorsey, J. [1998], "Audiooptimization: Goal based acoustic design", MIT Technical Report MIT-LCS-TM-588.

¹⁶ Caldas, L. [2002], "Evolving three-dimensional architecture form: An application to low-energy design". In *AID'02, Artificial Intelligence in Design 2002*, Cambridge, UK, July 2002. Ed. Gero, J., Kluwer Publishers, The Netherlands.

¹⁷ Caldas, L., Rocha, J. [2001], "A Generative Design System Applied to Siza's School of Architecture at Oporto", *Proceedings of CAADRIA 01*, Sydney, April 19-21, pp. 253-266.

¹⁸ CAD: Computer Aided Design; CAE: Computer Aided Engineering; CAM: Computer Aided Manufacturing.

¹⁹ Brockman, J. [1998] *The Third Culture*, Simon & Schuster, New York.

²⁰ Corbusier, Le [1923]. *Vers une Architecture* (publicado originalmente na revista *L'Esprit Nouveau*).

²¹ Ginzburg, Moisei [1982]. *Style and Epoch*. Oppositions Books. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts (edição original: *Stil' i epokha*, 1924).

²² *Arquitectura*, Lisboa 2.ª série, n.º 14, Abril 1947.

²³ Publicado com o nome, *Arquitectura Popular em Portugal*. Edição da Associação dos Arquitectos Portugueses.

²⁴ Sobre a transição da arquitectura portuguesa do Estado Novo para o Movimento Moderno, ver: Tostões, Ana [1997]. *Os Verdes Anos na Arquitectura Portuguesa dos Anos 50*. FAUP, Porto; e Fernández, Sérgio [1988]. *Percursos Arquitectura Portuguesa 1930-1974*. FAUP, Porto.

²⁵ Kubler, George [1972]. *Portuguese Plain Architecture; between Spices and Diamonds, 1521-1706*. Middletown, Conn., Wesleyan University Press.

A pergunta que agora se retoma é como se pode reflectir sobre a existência de uma arquitectura (e engenharia) portuguesa, num sentido mais plural, contemporâneo e definido por contextos globais relacionados com processos tecnológicos e computacionais. A utilização da computação nas áreas da engenharia e da arquitectura representa um processo que necessita de uma nova reinterpretação conceptual e teórica. A criação de novos produtos, o desenvolvimento de novos materiais através de matérias locais, as características de um lugar, tectónicas, sociais, culturais, podem também constituir-se como *modus operandi* para novos processos, e pode-se especular que a construção de tecnologia (*hard and soft*) pode igualmente ser desenvolvida sob princípios de uma cultura histórica que caracteriza valores e certas relações formais. Numa época em que cada vez mais os avanços tecnológicos retiram as restrições sobre o possível, torna-se pertinente aplicar técnicas computacionais e desenvolvê-las com características próprias, ou seja, a apropriação de um *genius loci* por parte da computação.

Fuga

Numa mesa-redonda realizada em 1999 no MIT²⁴, Álvaro Siza, em conversa com William Mitchell, *Dean* da Escola de Arquitectura, referia o trabalho exemplar dos artesãos portugueses que ainda conseguiam executar magníficos trabalhos para as obras por si idealizadas. A importância do *craftmanship* de trabalhadores especializados (marceneiros, pedreiros, estucadores), que se torna cada vez mais raro, é exemplo de uma forma de cultura que ainda permite um modo de pensar e executar arquitectura. Quando confrontado com a mesma questão sobre as qualidades do *craftmanship* nos EUA, William Mitchell respondeu que, quer em Boston, quer em Silicon Valley, o *craftmanship* é caracterizado pela capacidade de pensar e desenhar tecnologia (*software*) e esta é também vista como específica daquelas duas zonas geográficas que se definem como pontos de excelência tecnológica e que influenciam um outro modo de pensar arquitectura.

²⁴ Vídeo do debate realizado durante a disciplina de projecto *DSOF: Design Studio of the Future*, com a presença de Álvaro Siza, William Mitchell e Peter Testa. Escola de Arquitectura do Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, EUA.