

Mudança Digital no Desenho Arquitetónico

uma outra visão para a Arquitetura Paisagista

Ricardo Filipe Mendes Correia José

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Arquitetura Paisagista

Orientadoras:

Doutora Alexandra Cândia Rebelo Paio, Professora Auxiliar (ISCTE-IUL)

Doutora Ana Luisa Brito dos Santos Sousa Soares, Professora Auxiliar

Júri:

Presidente: Doutora Maria Teresa Gomes Afonso do Paço, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutora Alexandra Cláudia Rebelo Paio, Professora Auxiliar do ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa, orientadora;

Doutor Pedro Miguel Ramos Arsénio, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

2018

Agradecimentos

Agradeço o tremendo esforço, a vários níveis, das minhas orientadoras e o apoio da minha mulher e família.

Agradeço o apoio de todos os que me ajudaram e, em particular, colegas de trabalho e coautores de investigação.

Resumo

A presente dissertação procura traçar uma perspectiva histórica do desenho digital, em particular, nos processos arquitetónicos. O uso do computador e de métodos computacionais no desenho arquitetónico, por meio de programas específicos, tem sido estudado por vários autores no campo da Arquitetura, levando em consideração as mudanças no processo criativo e noutras formas de projetar. Contudo, não tem sido dado relevo à origem dessa mudança, tornando premente resgatar a memória histórica sobre o contexto e os protagonistas dessa transformação que tanto tem marcado a arquitetura do século XXI.

Neste sentido, pretende-se evidenciar as origens do desenho digital e olhar para as alterações que o desenho arquitetónico sofreu com a utilização de meios digitais, primeiro nos círculos académicos, nas décadas de sessenta e setenta e depois com uma massificação dos programas CAD (desenho assistido por computador) nas décadas de oitenta e noventa. A elaboração da tese de doutoramento em 1963, *Sketchpad: A man-machine graphical communication system* de Ivan Sutherland marca começo do digital no desenho arquitetónico. É a capacidade visionária de alguns académicos, e em particular de Sutherland, que possibilita a criação do primeiro programa de CAD interativo que permite desenhar sem papel, num monitor, num tempo em que os computadores eram dispendiosos, enormes, mas com monitores de dimensão inferior a alguns smartphones.

A dissertação tem como principal objetivo esboçar uma perspectiva histórica do desenho digital a nível internacional, através de pesquisa bibliográfica do trabalho de académicos e escolas relevantes para a revolução digital do século XX.

A dissertação estrutura-se em três partes. Na primeira, o primeiro capítulo destaca os antecedentes e a ligação da arquitetura à ciência e da computação à indústria. A segunda parte, descreve o começo da mudança digital através do desenvolvimento dos primeiros sistemas CAD interativos e dos contributos de cinco pioneiros do desenho digital arquitetónico. A terceira parte consiste na descrição de um caso prático de aplicação dos meios digitais à renovação do espaço público urbano.

Palavras-chave: Desenho, Digital, Arquitetura, Sketchpad, CAD

Abstract

This master thesis outlines a historic perspective of digital design focusing in the architectural processes. computer use and the use of computational methods in architectural design, through specific software, has been studied by several authors in the architectural field, considering the changes in the creative process and in other forms of design. However, the origin of this change has not been emphasized, making it urgent to bring back the historical memory about the context and the protagonists of this transformation that has marked so much the of the 21st century architecture.

It is intended to highlight the origins of digital design and to look at the changes that architectural design has suffered with the use of digital media, first in academia, in the sixties and seventies and later with CAD (computer-aided design) software large availability in the eighties and nineties. Ivan Sutherland's PhD dissertation *Sketchpad: A man-machine graphical communication system*, submitted in 1963, marks the digital beginning of the architectural design. It is the visionary capacity of some academics, and, especially, of Sutherland that makes possible the creation of the first interactive CAD program that allowed to draw without pencil and paper. The computer screen, in a time in the computers were expensive and enormous, it assumes an important part in the paradigm shift.

The outline of a digital design historical perspective at an international level is the master thesis main objective, to be done through bibliographic research of the work of academics and of relevant schools to the digital revolution of the 20th century. The dissertation is structured in three parts. In the first part, the first chapter highlights the antecedents and the connection of architecture to science, to computation and industry. The second part describes the start of the digital change through the development of the first interactive CAD systems and the contribution of five pioneers of the digital design. The third part consists in a practical case study of digital media applied to public spaces renewal.

Keywords: Design; Digital; Architecture; Sketchpad; CAD

Índice

Introdução	1
Objetivos e hipótese de trabalho	1
Metodologia e técnicas de abordagem	2
Estrutura da dissertação	3
Parte I - Antecedentes da mudança digital	5
1. Círculos académicos: Ciência e Arquitetura	6
1.1 Bauhaus	7
1.2 Circle: International Survey of Constructive Art	8
1.3 New Bauhaus: American School of Design	9
1.4 Hochschule für Gestaltung, Ulm	11
1.5 Design Methods	13
1.6 Ecological Landscape Design	14
2. Revolução na indústria: Computação e Arquitetura	24
2.1. Indústria Automóvel	24
2.2 Indústria Aeronáutica	26
2.3 Indústria Militar	28
Parte II - O começo da mudança	30
3. Os pioneiros: CAD ao BIM	34
3.1. Ivan Sutherland	35
3.2. Steven Coons	42
3.3. Christopher Alexander	46
3.4. Nicholas Negroponte	53
3.5. Charles Eastman	58
Parte III - Apropriação e afirmação do digital no desenho arquitetónico	66
4. Complexidade e a representação da cidade	66
Considerações Finais	76
Bibliografia	80

Lista de Figuras

Figura 1 - Linha do tempo da estrutura da dissertação	4
Figura 2 - Automatic Computing Engine (ACE), 1945 (Copeland e Aston, 1999)	6
Figura 3 - Circle: International Survey of Constructive Art (Martin, Nicholson e Gabo, 1937)	9
Figura 4 - Relação entre arte, ciência e tecnologia no ensino da arquitetura na Bauhaus,	12
Figura 5 - Capa do livro da primeira conferência de Design Methods - Conference on Systematic and Intuitive Methods in Engineering, Industrial Design, Architecture and Communications, London, 1963 (Jones e Thornley, 1963).....	14
Figura 6 - Gropius e McHarg em 1950 na apresentação da dissertação do último em que o professor era júri (McHarg, 1996)	18
Figura 7 - Capa original de Design with Nature com a fotografia da Terra tirada pela Apollo 8 (McHarg, 1969) ...	21
Figura 8 - Curva de Bézier com triângulo calculado com Algoritmo de Casteljau (Goldman, 2004)	25
Figura 9 - Frame de filme de uma animação gerada por computador, William Fetter (Negroponte, 1970).....	27
Figura 10 - Reconstrução efetuada por Daniel Cardoso Llach (2015a) de um desenho original produzido pelo Whirlwind utilizando linguagem APT	29
Figura 11 - Fita de papel perfurada que servia para transmitir comandos a computadores não interativos, como no caso da linguagem APT desenvolvida por Douglas Ross (Llach, 2015a).....	32
Figura 12 - Ivan Sutherland desenhando no Sketchpad, o primeiro CAD interativo (Llach, 2012)	38
Figura 13 - Ivan Sutherland com o “Head Mounted Three Dimensional Display” (Negroponte, 1970).....	41
Figura 14 - A Coons patch – uma solução matemática para o problema da representação	43
Figura 15 - As árvores e as estruturas reticulares (semilattices) de “A City is not a Tree” (Alexander, 1965)	50
Figura 16 - O URBAN5 com teclado e consola (Negroponte, 1970).....	56
Figura 17 - Negroponte e o mundo de blocos de SEEK (Negroponte, 1970)	57
Figura 18 - Habitante de SEEK (Llach, 2015a)	57
Figura 19 - Imagem de “General purpose building description systems” (Eastman, 1976).....	63
Figura 20 - Fotogramas da animação digital, representando, cada um, seis meses de alterações no espaço público	69
Figura 21 - KDE simples para alterações do espaço público com janela de 400m (base - Google Maps™).....	72
Figura 22 - KDE simples para alterações do espaço público com janela de 1000m (base - Google Maps™).....	72
Figura 23 - Comparação entre o KDE simples para alterações do espaço público e o KDE para as áreas vacantes urbanas, ambos com janela de 400m (base -Google Maps™).....	74
Figura 24 - Comparação entre o KDE simples para alterações do espaço público e o KDE para o licenciamento urbanístico de obras de reabilitação, ambos com janela de 400m (base -Google Maps™).....	74
Figura 25 - Comparação entre o KDE simples para alterações do espaço público e o KDE para árvores de arruamento, ambos com janela de 400m (base -Google Maps™).....	75

Lista de abreviaturas

ACADIA	-	Association for Computer Aided Design in Architecture
ACE	-	Automatic Computing Engine
ACM	-	Association for Computing Machinery
AED	-	Automated Engineering Design
AIA	-	American Institute of Architects
AMG	-	Architecture Machine Group
APT	-	Automatically Programmed Tool
ARPA	-	Advanced Research Projects Agency
ARPANET	-	Advanced Research Projects Agency Network
BDS	-	Building Description System
BIM	-	Building Information Modeling
B-spline	-	Spline básica
C++	-	Linguagem de programação C++
CAAD	-	Computer-Aided Architectural Design
CAD	-	Computer-Aided design
CAGD	-	Computer Aided Geometric Design
CADAM	-	Computer-graphics Augmented Design and Manufacturing
CAGD	-	Computer Aided Geometric Design
CalTech	-	California Institute of Technology
CAM	-	Computer-Aided Manufacture
CATI	-	Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive
CATIA	-	Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application
CES	-	Center for Environmental Structure
CIAM	-	Congrès internationaux d'architecture moderne
CML	-	Câmara Municipal de Lisboa
CMU	-	Carnegie Mellon University
CRT	-	Cathode Ray Tube
DRAPO	-	Définition et Réalisation d'Avions Par Ordinateur
DRC	-	Design Research Center
ENIAC	-	Electronic Numerical Integrator and Computer
ESL	-	Electronic Systems Laboratory do MIT
FFmpeg	-	Software gratuito que produz bibliotecas para manipular dados multimédia
GeoJSON	-	Open standard format designed for simple geographical features
GLIDE	-	Graphical Language for Interactive Design
GMRL	-	General Motors Research Laboratories
GSD	-	Graduate School of Design
GSP	-	General Space Planner
HfG-Ulm	-	Hochschule für Gestaltung, Ulm
HIDECS	-	Hierarchical Decomposition of Systems
IBM	-	International Business Machines Corporation
IEC	-	International Electrotechnical Commission
IIT	-	Illinois Institute of Technology
IPTO	-	Information Processing Techniques Office
ISO	-	International Organization for Standardization
KDE	-	Kernel Density Estimation
LSO	-	Landing Signal Officer

MAC	-	Machine-Aided Cognition
MARS	-	Modern Architectural Research
MIT	-	Massachusetts Institute of Technology
MIT Media Lab	-	Media interdisciplinary research laboratory, MIT
MPEG	-	ISO/IEC Moving Picture Experts Group
MPEG-4	-	padrão para compressão de dados MPEG
NASA	-	National Aeronautics and Space Administration
NURBS	-	Non-Uniform Rational B-Splines
Penn	-	University of Pennsylvania
Pixar	-	Pixar Animation Studios
QGIS	-	Quantum GIS
RAND	-	Research and National Development
SAGE	-	Semi-Automatic Ground Environment
SDC	-	System Development Corporation
Shapefile	-	GIS file format
SIG	-	Sistema de informação geográfica
TIFF	-	Tagged Image File Format
TX-0	-	Zeroth Transistorized Computer
UCLA	-	University of California, Los Angeles
UniSYS	-	Unisys Corporation
Wiki	-	WikiWikiWeb

Introdução

Enquadramento do tema e questão de investigação

A representação em arquitetura paisagista é realizada, sobretudo, pelo desenho. Este é o meio, por excelência, pelo qual os arquitetos estruturam e comunicam o seu pensamento. Nos últimos anos o processo de representação pelo desenho tem sofrido grandes alterações motivadas pela introdução dos computadores e da computação no processo criativo. Nos projetos de arquitetura paisagista é inegável, cada vez mais, o recurso a *softwares* de desenho assistido por computador (CAD) tridimensional, a utilização da capacidade de processamento do computador e a utilização de informação de bases de dados, incluindo sistemas de informação geográfica (SIG).

Ao longo da história da arquitetura, os processos sempre estiveram associados às ferramentas disponíveis e à evolução tecnológica. Como afirma Picon (2010), no Renascimento a adoção de novas ferramentas e procedimentos são inseparáveis de fenómenos mais amplos, como o surgimento do arquiteto moderno. Logo, o desenho pode ser estudado como um meio de evolução histórica do processo arquitetónico. A possibilidade de utilizar a capacidade de computadores para desenhar trouxe, numa fase inicial, a simplificação de processos e a facilidade de execução de tarefas repetitivas. Na última década, utilizar os computadores para desenhar significa associar ciência e aproveitar a computação (Burry, 1996, 2011; Oxman e Oxman, 2014), bem como a inteligência artificial, (Plowright, 2014) materializando a visão premonitória de Simon (1969) do desenho como uma das ciências do artificial e servindo para criar desenhos que associam e integram diferentes tipos de informação (Tedeschi, 2014). Através da escolha do tema da dissertação pretende-se apresentar o contexto e identificar os protagonistas da grande transformação que ocorreu com a introdução de meios digitais no desenho arquitetónico desde os anos sessenta.

Os vários protagonistas contribuíram para a introdução dos meios digitais no desenho arquitetónico, por via do ensino em escolas europeias e americanas (Findeli, 1995; Spirn, 2000; Rocha, 2004; Keller, 2005; Anker, 2010; Llach, 2012, 2015a; Steenson, 2014, 2017; Perry, 2014; Gaboury, 2015b; Neves, 2015b) mas, também, por via da investigação e da prática profissional (Spirn, 2000; Llach, 2012, 2015a; Steenson, 2014, 2017; Perry, 2014; Gaboury, 2015b). Os meios digitais de desenho que nos anos sessenta apenas eram acessíveis nas universidades, passaram mais tarde para indústria, ficando depois acessíveis a grandes estúdios de arquitetura e massificando nos anos oitenta (Llach, 2012, 2015a).

Neste contexto, importa contribuir para um outro olhar sobre o papel do digital na alteração da prática do desenho arquitetónico no século XXI.

Objetivos e hipótese de trabalho

São vários os autores que têm vindo a abordar a temática da história do Desenho Assistido por Computador (CAD, acrónimo de *Computer Aided Design*), abordando sobretudo o período dos anos

sessenta do Século XX (Llach, 2012, 2015a). Sobretudo as teses de doutoramento têm traçado perspectivas históricas parciais sobre a importância das origens do CAD interativo, tanto para o desenho arquitetónico como para o design gráfico (Rocha, 2004; Keller, 2005; Llach, 2012; Steenson, 2014; Gaboury, 2015b; Neves, 2015b). Estas constituem-se como uma importante base para um trabalho relativo à evolução do desenho digital arquitetónico. No entanto, representam uma visão parcial em que não é efetuada uma perspetiva histórica da mudança do desenho arquitetónico provocado por outras disciplinas, entre as quais se inclui a matemática e a computação.

O objetivo principal da presente dissertação é o de agregar informação para um maior conhecimento relativo à utilização dos meios digitais no desenho arquitetónico, considerando os antecedentes e o período das décadas de sessenta e setenta. A abordagem cronológica permitirá demonstrar uma perspetiva histórica do digital no desenho, começando pelo enunciar de uma série de antecedentes, passando depois para a conceção dos primeiros CAD interativos e, finalmente, pela extensão da utilização à arquitetura nos meios académicos, incluindo os primeiros trabalhos completamente desenvolvidos com o apoio da computação. Como se trata de investigação em arquitetura paisagista importa, também, observar as contribuições de maior relevo da área para a mudança digital diferenciando o desenho em arquitetura paisagista do desenho arquitetónico genérico.

Metodologia e técnicas de abordagem

De acordo com os objetivos apresentados, para a presente investigação, foi adotada uma metodologia quantitativa e qualitativa constituída por pesquisa e recolha bibliográfica. A bibliográfica envolveu, fontes primárias e secundárias, teses de doutoramento, periódicos e outras publicações, artigos e comunicações científicas, notas bibliográficas, em formato analógico ou digital, formatos áudio e vídeo bem como páginas *web* e outros documentos em formato exclusivamente eletrónico.

A primeira fase da metodologia, consistiu numa pesquisa de trabalhos académicos (na maioria não nacionais) disponibilizados em repositórios *online*, como é o caso do repositório *online* do Massachusetts Institute of Technology (dspace.mit.edu), instituição onde foi elaborada a tese de doutoramento relativa à conceção do primeiro CAD interativo. A segunda fase da análise das fontes envolveu a pesquisa de outros elementos relacionados com os trabalhos académicos, como sejam, livros, periódicos, artigos, comunicações científicas, notas bibliográficas, em formato analógico ou digital, formatos áudio e vídeo. Esta análise permitiu aferir um conjunto de académicos relevantes para a evolução do desenho arquitetónico digital. A metodologia permitiu elaborar uma síntese crítica sobre os conceitos e a revisão histórica do começo dos sistemas CAD interativos, dos seus antecedentes e da sua extensão ao desenho arquitetónico.

A dissertação inclui, também, uma reflexão crítica analítica sobre um caso prático relacionado com renovação do espaço público das cidades. O caso estudado permite demonstrar a capacidade dos meios digitais na representação, no tempo, de fenómenos das cidades através do recurso ao CAD, às bases de dados e às operações de análise espacial dos sistemas de informação geográfica.

Estrutura da Dissertação

A presente dissertação estrutura-se em três partes. A primeira parte, mais abrangente, é composta por dois capítulos que procuram caracterizar, através de uma perspectiva histórica, a evolução do desenho arquitetónico digital genérico (Figura 1). A segunda parte é constituída por um capítulo único destinado ao começo da mudança digital através dos contributos de vários pioneiros. Na última parte é descrito um exemplo prático de análise espacial e representação visual viável através do um processo que envolve desenho arquitetónico digital.

O primeiro capítulo - **Antecedentes do CAD** - é dedicado aos antecedentes da revolução digital. Este é constituído por um primeiro capítulo – **Círculos académicos: Ciência e Arquitetura** - dedicada à caracterização de vários contributos, sobretudo ao nível do ensino, com destaque para a mudança do desenho arquitetónico através do uso da ciência, ainda sem recurso aos meios digitais. Nesta é incluída uma secção dedicada ao contributo específico da arquitetura paisagista, para os primeiros programas de desenho assistido por computador, mas ainda com recurso a meios analógicos, percursos de processos digitais SIG. O segundo capítulo, - **Revolução na Indústria: Computação e Arquitetura** – é examinada a relação entre a indústria e a computação através de três grandes áreas de produção industrial, a indústria automóvel, a indústria aeronáutica e a indústria da defesa via investigação científica no Massachusetts Institute of Technology (MIT).

A segunda parte - **O começo da mudança** - é focada nos contributos do Projeto CAD do MIT e na demonstração do primeiro projeto de investigação científica na área de engenharia dedicado ao desenho assistido por computador interativo e cuja denominação serviu para batizar o *Computer-Aided Design* (CAD). O terceiro capítulo - **Os Pioneiros do desenho: CAD ao BIM** - é dedicado à evolução do CAD interativo no campo do desenho arquitetónico. Está dividido em cinco secções, cada uma dedicada a demonstrar o papel de cada pioneiro na evolução do desenho arquitetónico digital.

A terceira parte - **Apropriação e afirmação do digital no desenho arquitetónico** – foca-se nos meios digitais contemporâneos. O último capítulo - **Complexidade e a representação da cidade** - é apresentado um exemplo de representação da renovação do espaço público urbano através da informação disponibilizada pelas bases de dados associadas ao SIG.

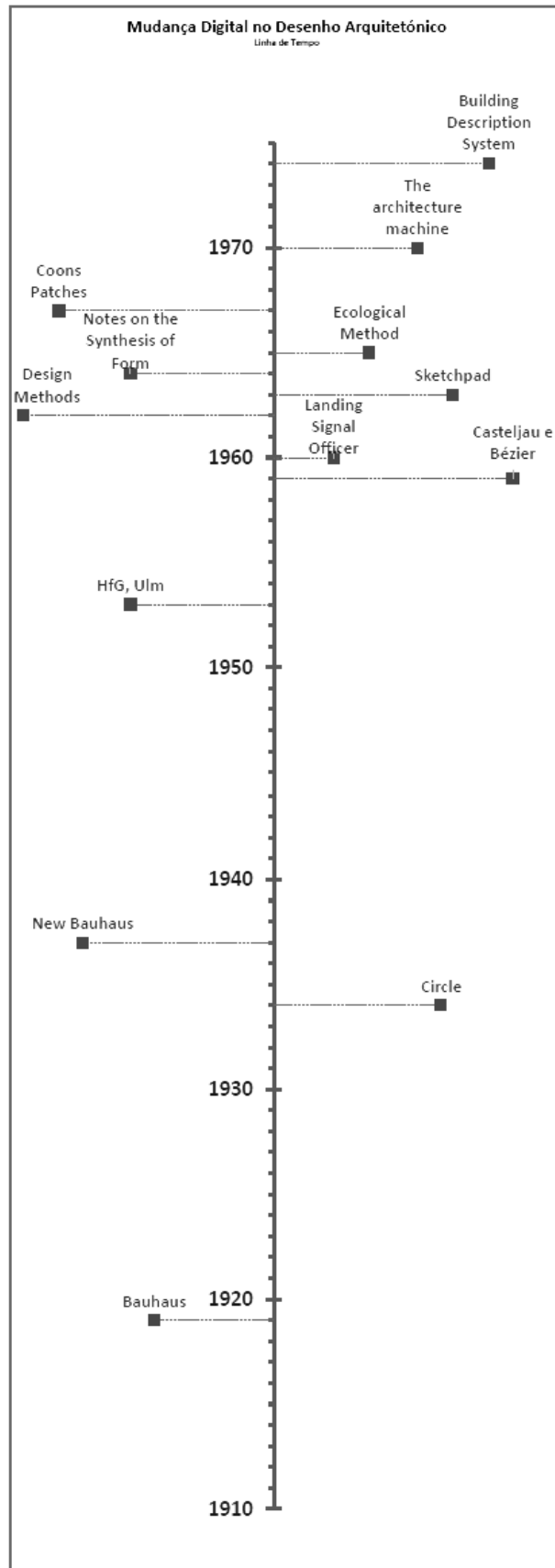


Figura 1 - Linha do tempo da estrutura da dissertação

Parte I - Antecedentes da mudança digital

“ ... um sistema CAD, é possível realizar interpretações de asserções com quantificadores por meio de procedimentos que realizam buscas em listas de registos de entidades, testando se elas são linhas, retas, linhas curtas, etc.”

(Mitchell, 2008, p. 75)

Quando falamos de desenho, referimo-nos à capacidade intelectual de transmitir num determinado suporte um gesto ou uma ideia. Trata-se de revelar numa superfície tangível uma visão. O desenho tem um papel privilegiado como instrumento de imaginação e representação visual. As funções e atuações do desenho arquitetónico, como representação rigorosa de uma idealização, é resultado da evolução ao longo dos séculos. Os momentos históricos fundamentais de rutura e continuidade merecem uma reflexão para que se consiga compreender o desenho no processo arquitetónico contemporâneo. A relação entre passado e presente estabelece-se pela análise de fatores geradores de mudança.

Um dos fatores de mudança é o digital. Mas o que é o digital? Segundo Picon (2017) ainda há um longo trabalho historiográfico a realizar para compreender a sua origem e percurso até aos nossos dias. O termo digital tem sido associado ao uso do computador. Todavia, Picon (2017) refere que é muito mais complexo do que essa simples relação na arquitetura, porque esta relaciona-se com conjunto muito alargado de dimensões.

Nesta dissertação, o caminho adotado para descrever os antecedentes do “digital” passa por associar ciência e arquitetura. Ao longo da história da arquitetura a ciência e a técnica foram construindo ferramentas e meios de representação cada vez mais evoluídos. No Renascimento é evidente a relação (Picon, 2000). Vários autores consideram a possibilidade de o desenho digital ter as suas origens nos tratados de Leon Battista Alberti e nas suas demonstrações sobre perspetivas, efetuadas algumas décadas antes pelo Arquitecto do Duomo de Florença, Filippo Brunelleschi (Mitchell, 2008; Llach, 2012; Carpo, 2017). Mitchell vai mesmo mais longe ao considerar que Alberti estava a efetuar desenho computadorizado mais de quinhentos anos antes da invenção do computador (Mitchell, 2008, p.6)

Na primeira parte da dissertação, será dado relevo aos antecedentes da mudança realizada na representação de uma ideia arquitetónica, nos anos sessenta e setenta do século passado, primeiro nos ciclos académicos com uma crescente relação entre a ciência e a arquitetura, e em seguida com a introdução da computação na indústria.

A construção de conhecimento, no campo da arquitetura, surge da articulação entre a ciência e a computação (Krüger, 1986). A arquitetura interage com outras áreas científicas direcionada à pesquisa tecnológica. Surgem os primeiros indícios na busca de uma articulação entre a capacidade criativa humana e a programação de processos passíveis de uma automatização computacional. O movimento *Design Methods* introduz o pensamento científico de origens cibernéticas, biológicas e linguísticas no projeto arquitetónico. O processo conceptual é científico (Steadman, 1979).

Outro aspeto relevante, no contexto de mudança é, também, o surgimento da computação. No desenvolvimento dos meios computacionais, mesmo tendo em consideração os importantes avanços proporcionados por Blaise Pascal e Gottfried Leibniz, merece maior destaque, no entanto, o responsável pelo desenvolvimento do computador analógico Charles Babbage (1791-1871). Este foi um cientista em diferentes áreas, um verdadeiro homem do renascimento em pleno século XIX. Na primeira metade do referido século, idealizou os primeiros computadores analógicos, denominados de *Engines*. O *Difference Engine* e o *Analytical Engine*, nunca foram completados por Babbage por falta de financiamento (Goldstine, 1993; Swade, 2001).

Cem anos mais tarde, outro britânico, Alan Turing (1912 -1954), seria um responsável por um novo tipo de *Engine* o *Automatic Computing Engine* (ACE) (Figura 2), mas, neste caso, uma versão digital e programável. O ACE pode ser considerado o primeiro computador moderno, porque podia ser controlado por Código. De facto, o ACE que começou a ser desenhado por Turing em 1945, era o primeiro computador que podia guardar sub-rotinas em memória, algo que o seu contemporâneo americano ENIAC não podia fazer. Por este motivo, alguns autores consideram que todos os computadores digitais são “Turing machines”. Desta forma, pode-se considerar que o desenho arquitetónico digital não existiria sem as máquinas tal como apresentadas por Turing em 1936 (Turing, 1937; Copeland, 2000, 2004; Copeland e Proudfoot, 2012).

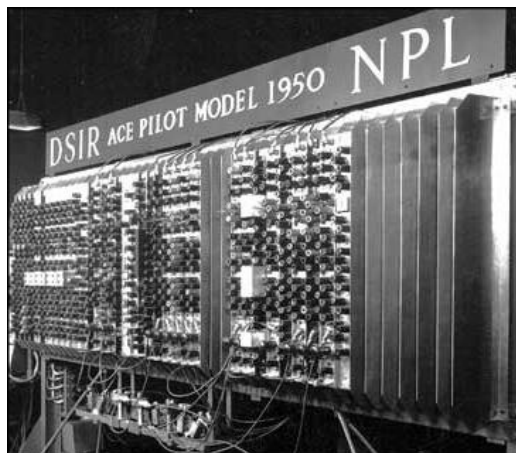


Figura 2 - Automatic Computing Engine (ACE), 1945 (Copeland e Aston, 1999)

1. Círculos académicos: Ciência e Arquitetura

No primeiro capítulo, são descritos os primórdios do desenho digital interativo no século XX através dos círculos académicos, na ligação da ciência com o desenho arquitetónico, bem como os mais relevantes avanços na indústria por meio da computação gráfica. A estrutura assenta na ligação entre uma primeira geração de professores de arquitetos que utilizavam a ciência como método de aprendizagem e os primeiros praticantes de desenho arquitetónico digital, protagonistas de uma época que Keller (2005) denominou de “Scientific Sixties”. Foram consideradas apenas as influências mais diretas, aquelas em que envolvem personalidades do ensino e investigação que se relacionaram entre si contribuindo para a evolução do desenho arquitetónico digital.

1.1 Bauhaus

A inclusão da Bauhaus num estudo sobre desenho arquitetónico digital poderá parecer à primeira vista extemporânea. No entanto, existe uma forte justificação para o fazer, uma vez que a escola se associa à lógica da máquina (Banham, 1960), tratando-se de uma das primeiras a ter um currículo em que o ensino considerava a tecnologia e a ciência em simultâneo (Findeli, 1990).

A Bauhaus surge, em 1919, na sequência da I Guerra Mundial, num contexto em que vão surgindo várias escolas de Arte na Alemanha. Fundada por Walter Gropius combina um forte espírito colaborativo entre as várias artes. Lazlo Moholy-Nagy (1895-1946), o responsável do curso preliminar da Bauhaus, entre 1923 e 1928, é considerado uma figura fulcral na implementação de um novo currículo que releva a sua capacidade pedagógica na utilização conjunta de arte, ciência e tecnologia tanto na Bauhaus Alemã como na versão americana de Chicago denominada *New Bauhaus* (Moholy-Nagy, 1929, 1947; Whitford, 1984; Findeli, 1990, 1995, 2001).

Whitford (1984), um dos importantes historiadores da escola alemã, considera que nunca tinha existido uma escola daquele tipo, antes. A Bauhaus (1919-1933) reflete uma nova atitude perante a arte, até então desempenhada por artistas e artesãos, modelada pela engenharia e pela tecnologia da indústria. De facto, na primeira exposição pública da Bauhaus, o mote era claro “arte e tecnologia uma nova unidade” vincando o carácter da formação de novos designers capazes de conceber artefactos produzidos por máquinas (Whitford, 1984).

O currículo estruturava-se em princípios científicos para combinar cores e formas geométricas básicas, e assim eliminar o decorativo criando uma estética funcional muito ligada ao positivismo lógico (Galison, 1990). O positivismo e o Círculo de Viena¹ influenciariam, também, anos mais tarde, a New Bauhaus quando Moholy-Nagy contratou Charles Morris para elaborar o programa da escola e para ser o responsável pelas cadeiras de integração intelectual (Findeli, 1990, 2001).

A arquitetura da Bauhaus marca uma mudança de atitude perante a ciência, ao ponto dos contemporâneos, tratarem os arquitetos da Bauhaus como arquitetos científicos (Banham, 1960; Anker, 2005). Outra ideia importante prende-se com a circunstância dos desenhadores da Bauhaus observarem a ciência como veículo para o desenvolvimento do desenho (Anker, 2005).

Porém, os contributos da Bauhaus, para a ciência no desenho arquitetónico, não se cingem a Gropius e Moholy-Nagy, outros professores, também, deram importantes contribuições. O pintor suíço Paul Klee com o livro *The Thinking Eye* revelou a importante influência da ciência no desenho (Hughes, 1981; Findeli, 2001). O segundo diretor da escola, o também suíço, Hannes Meyer explorava a racionalização do processo de desenho baseando-o num método experimental típico de cientistas (Findeli, 1991; Hays, 1999; Beardon, 2003).

Gropius iria para o Reino Unido, em meados da década de trinta, e depois para os Estados Unidos, para ser o diretor do departamento de arquitetura da *Harvard Graduate School of Design* onde

1. Grupo de filósofos e cientistas que se encontravam regularmente na Universidade de Viena, entre 1924 e 1936, e que expandiu, posteriormente, a um nível internacional, tendo uma forte influência sobre a conduta da filosofia da ciência bem como de outros ramos da filosofia e da economia, psicologia e física (Ayer, 1981; Galison, 1990).

contribuiu para a estruturação dos cursos de planeamento regional e arquitetura paisagista (Pearlman, 2007). Já depois dos oitenta anos, continuaria ligado à relação entre ciência e arquitetura, participando naquela que pode ser considerada a primeira conferência de desenho digital arquitetónico “*Architecture and the Computer*” do Boston Architectural College, em 1964.

1.2 ***Circle: International Survey of Constructive Art***

No interlúdio entre o fecho da Bauhaus em 1933, com Mies van der Rohe como diretor e a New Bauhaus de Moholy-Nagy em Chicago, nasce em 1937 um relevante movimento para a relação entre a ciência e arquitetura no Reino Unido. Os académicos da Bauhaus devido ao Terceiro Reich refugiaram-se em Londres. Segundo Anker (2005) ou Wessely (2005) existe mesmo a hipótese de ter sido considerada uma tentativa de criação de uma “London Bauhaus”. No entanto, Rocha (2004) prefere referir apenas a criação de um grupo avant-garde de artistas e cientistas que esteve na origem do livro *Circle: International Survey of Constructive Art* (Figura 3), compêndio de arte, arquitetura e ciência (Martin, Nicholson e Gabo, 1937; Rocha, 2004; Keller, 2005). O livro é de vital importância para caracterizar a cena britânica da década de trinta. Lionel March, aluno do editor de *Circle*, Leslie Martin, caracterizaria o grupo como um "galáxia extraordinária de génios" (Rocha 2004).

O coletivo de *Circle* envolvia figuras do modernismo britânico que ajudariam a transformar a arquitetura do Reino Unido. Estas estavam constantemente envolvidas em grupos de intelectuais e artistas, não só em Londres, mas também em Cambridge. Com a subida ao poder dos Nacionais Socialistas na Alemanha, o grupo passou, também, a abranger importantes refugiados do regime alemão, incluindo artistas e arquitetos (Rocha, 2004; Picon, 2010).

Fazem parte deste grupo Gropius, que tinha partido para o Reino Unido em 1934, e Moholy-Nagy, no ano seguinte, depois de uma estada na Holanda. Ambos estiveram em Londres, com Marcel Breuer, também mestre da Bauhaus, até partirem para EUA, em 1937 (Anker, 2005; Picon, 2010).

Em Londres, os ex-professores da Bauhaus deram pontualmente aulas, nomeadamente com Leslie Martin, então responsável pelo curso de arquitetura da Universidade de Hull. Gropius, também, trabalhou no *atelier* de Maxwell Fry (Rocha, 2004) um dos membros do MARS group. O MARS era aquilo a que se pode chamar o ramo Britânico do CIAM (responsável pela Carta de Atenas) e era constituído por um grupo de arquitetos conhecidos por defenderem a sensibilidade ambiental (Darling, 2014).

O *Circle* envolvia artistas plásticos, como Ben Nicholson e Barbara Hepworth e, ainda, os cientistas Desmond Bernal, Julian Huxley. Entre outros elementos de relevo, merecem ainda destaque pela origem, os refugiados do extremo leste europeu, artistas e arquitetos de origem soviética, Naum Gabo, Berthold Lubetkin e Serge Chermayeff. Este último, Martin e, também, Gyorgy Kepes, colaborador de Moholy-Nagy em Londres, merecem particular destaque pelo papel que viriam a desempenhar no desenho arquitetónico digital dos anos sessenta (Rocha, 2004; Pearlman, 2007).

Para a evolução do desenho arquitetónico, é importante destacar que neste período, e no seio deste grupo, é desenvolvida uma nova cultura arquitetónica de investigação científica. Trata-se de um cruzamento de arquitetura e ciência de grande relevo para a aproximação do desenho arquitetónico à computação nos anos sessenta nos Estados Unidos e Reino Unido (Rocha, 2004).

O cruzamento entre arquitetura e ciência também é relevante para a aproximação do desenho arquitetônico à ecologia. O escritor Wells e o biólogo Huxley, colaboradores do Zoo de Londres, foram importantes na organização de conferências e encontros que fomentavam uma visão mais ecologista do design. Tal visão tinha preocupações ao nível do bem-estar do homem e da natureza, da relação do edificado com o clima e da relação entre a natureza e tecnologia ou mesmo sustentabilidade do planeta (Anker, 2005; Picon, 2010). Huxley escreverá mesmo que partilhava com Gropius, uma cultura de ciência virada para a sustentabilidade e que em parte poderá esta ter contribuído para o desenvolvimento de um desenho arquitetônico sustentável (Isaacs, 1991; Anker, 2005).

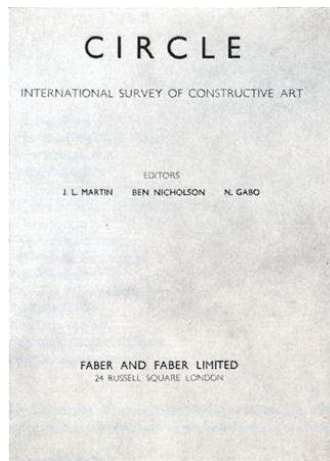


Figura 3 - Circle: International Survey of Constructive Art (Martin, Nicholson e Gabo, 1937)

Do grupo *Circle*, também, merece destaque, o físico de origem irlandesa, Desmond Bernal que fomentou a pesquisa científica na arquitetura e que juntamente com Leslie Martin, no pós guerra, seria responsável pela inclusão de investigação científica na indústria da construção civil britânica que à época estava direcionada para o esforço de reconstrução do país e, também da realização das *New Towns* (Keller, 2005; Rocha, 2004). Martin, depois de anos de trabalho, no estado e nas tarefas de reconstrução, seria nomeado diretor da *Cambridge School of Architecture*, contribuindo para a evolução da teoria e da investigação em arquitetura, incluindo os princípios científico com destaque para o positivismo lógico (Krüger, 2005). Martin foi nos anos cinquenta e sessenta professor da geração que nos anos décadas seguintes desenvolverá o desenho digital arquitetônico e onde estava incluído Christopher Alexander (Keller, 2005; Rocha, 2004).

1.3 ***New Bauhaus: American School of Design***

A *New Bauhaus: American School of Design*, inaugurada em novembro de 1937 em Chicago, seguia o currículo da escola original de 1919, mas com alguma atualização para a América do Norte dos anos trinta. Tal como na Bauhaus, existia um curso preliminar, com a duração de um ano, sendo que depois cada estudante podia escolher qual dos workshops de três anos pretendia seguir e onde se incluíam Foto e Filme (inicialmente existia o workshop Luz), Design de Produto, Modelação, Design Gráfico (inicialmente existia o workshop cor), Palco, Tecelagem e Arquitetura que conduzia a um Master de dois anos (Findeli, 1990, 1991, 1995).

Lazlo Moholy-Nagy o diretor da *New Bauhaus*, residia em Londres há dois anos trabalhando não só como fotógrafo, mas também como vitrinista, publicitário e na organização de exposições. Seu antigo colega diretor da Bauhaus e amigo Gropius tinha decidido partir para lecionar em Harvard, dois meses antes, quando recebe um convite da Associação de Artes e Indústrias de Chicago para lá fundar a School of Design. Com emprego no Massachusetts, Gropius recusa o convite, mas indica o nome de Moholy-Nagy. Cansado do trabalho londrino Moholy-Nagy aceita de imediato e parte para Chicago (Findeli e Benton, 1991; Findeli, 1995; Pearlman, 2007).

Ao atualizar o currículo para a realidade de Chicago, Moholy-Nagy, mesmo considerando que os pressupostos da Bauhaus estavam válidos, fez alguns aditamentos às ideias de Gropius. Os currículos foram alargados não só com a parte artística mais tecnológica como o filme e a fotografia, mas também com artes não visuais como a música e poesia. Se na Bauhaus a fórmula era arte e tecnologia, na New Bauhaus, Moholy-Nagy adicionou a ciência. O novo currículo passa a incluir uma forte componente de ciências sociais, coordenado pelo professor do departamento de filosofia da University of Chicago, Charles Morris. Morris estava ligado ao Círculo de Viena e ao positivismo lógico e havia sido recomendado pelo filósofo Rudolf Carnap (Findeli, 1995; Findeli, 1990).

Segundo Findeli (1995) o método pedagógico de Moholy-Nagy, procurava que os alunos após o curso preliminar demonstrassem uma vocação para um dos workshops tendo depois nestes, alternadamente, formação teórica (científica), prática (tecnológica) e artística. Para Moholy-Nagy, não só a forma seguia a função mas seguia, também, o desenvolvimento científico e tecnológico, bem como a sociologia e economia, de acordo com o que preconizou no seu principal livro *Vision in Motion* (1947) publicado postumamente (Findeli, 1995; Findeli, 1990). Considerando o próprio programa da escola, elaborado por Morris, a *New Bauhaus* era uma escola pioneira na inclusão de um currículo científico na educação artística moderna (Findeli, 1991; Moholy-Nagy, 1947).

Porém, a New Bauhaus, só durou um ano letivo com esse nome. A Associação de Artes e Indústrias de Chicago, alegando problemas económicos fechou a escola, tentando que fosse reaberta mais tarde sem Moholy-Nagy. Tal circunstância serve para explicar a nova denominação School of Design utilizada por Moholy-Nagy, em virtude de contencioso em que este se encontrava com a referida associação (Findeli, 1995). A School of Design abriria novas instalações, em 1939, com o interregno de apenas um semestre e com o apoio do milionário Walter Paepcke, mecenas e amigo de Moholy-Nagy. A escola manteve-se, com bastantes dificuldades, durante os anos da Segunda Guerra Mundial, devido à ausência de professores, alunos e racionamento de materiais, tendo inclusive de redefinir alguns cursos para fins militares como seja a camuflagem (Findeli, 1995; Findeli e Benton, 1991). Em 1944 surgia o Institute of Design, passando a escola a instituto com acreditação de escola superior de forma a facilitar uma inclusão numa instituição universitária. Esta inclusão permitiria a Paepcke resolver o crónico problema de financiamento da instituição.

Contudo, em 1946, Moholy-Nagy viria a falecer. Paepcke encarregaria a escolha de um novo diretor a um comité presidido por Gropius e que incluía o então reitor da Harvard Graduate School of Design Joseph Hudnut e o futuro reitor Josep Lluís Sert. A escolha recairia sobre Serge Chermayeff, conhecido de Moholy-Nagy e Gropius, à data diretor do Brooklyn College (Chermayeff, 1985; Pearlman, 2007; Findeli, 1995).

Chermayeff manteria a estrutura e as ideias de Moholy-Nagy, até à sua saída da instituição em 1951, incluindo o workshop de arquitetura que não era desejado pelo diretor do departamento de arquitetura do IIT, Mies van der Rohe. Em 1955, sem Chermayeff e com novo rumo pedagógico, o Institute of Design, deixaria de ter o *workshop* de arquitetura (Findeli, 1995; Findeli, 1990). Chermayeff teria uma curta passagem pelo MIT seguindo para Harvard, onde seria o orientador da tese de doutoramento de Christopher Alexander. Em 1964, seria o *keynote speaker* na primeira conferência de desenho digital arquitetônico “Architecture and the Computer” do Boston Architectural College (Rocha, 2004; Steenson, 2014; Dyckhoff, 2017).

1.4 Hochschule für Gestaltung, Ulm

A Hochschule für Gestaltung de Ulm (HfG-Ulm) foi uma escola alemã de Design e Arquitetura do Pós-Segunda Guerra Mundial. Os diretores da HfG-Ulm, entre 1953 e 1968, preconizaram percursos profissionais distintos, sendo o primeiro diretor o arquiteto suíço Max Bill, arquiteto e designer, antigo aluno de Meyer na Bauhaus, o segundo, o pintor argentino Tomás Maldonado e o terceiro e último, o filósofo alemão Max Bense. Segundo Neves (Neves, Rocha e Duarte, 2013; Neves, 2015a, 2015b) e Frampton (Frampton, 1974), mesmo considerando os diferentes tipos de gestão e a curta duração temporal, a HfG-Ulm foi considerada uma das mais importantes escolas de projeto do pós-guerra e mesmo de todo o século XX.

Segundo Findeli (1991) a escola começou a ser idealizada em 1947, na época da reconstrução da Alemanha Federal, de uma forma que pode ser considerada à sombra da Bauhaus, herdando, numa primeira fase, antigos alunos e professores como parte do corpo docente, reforçados por um discurso inaugural de Gropius. A HfG-Ulm simbolizou uma ideia de investigação no desenho, com base na ciência e sobretudo na ciência social, representando, também, o valor estético como símbolo da democracia (Findeli, 1991; Neves, 2015b).

Contudo, é importante destacar as grandes diferenças de rumo para a escola, associadas aos vários diretores, e em especial, a Bill e Maldonado. Estas divergências estiveram mesmo na origem da saída do primeiro. Bill era a descendência mais direta da Bauhaus, assim, tinha preocupações ao nível da forma e da relação da cultura contemporânea com os objetos produzidos em massa pela indústria. Por outro lado, o ensino de Maldonado assentava na ciência, incluindo economia, sociologia, teoria da ciência e cibernética (Wiener, 1961) de forma a possibilitar uma melhor capacidade de decisão ao nível industrial (Findeli, 1991; Rocha, 2004; Krippendorff, 2005; Neves, Rocha e Duarte, 2013; Neves, 2015a, 2015b).

Outra das inovações pedagógicas atribuídas a Maldonado foi a introdução da semiótica nos currículos, em que a lógica matemática contribuía como base para a metodologia do desenho (Findeli, 1991; Rocha, 2004; Krippendorff, 2005; Neves, Rocha e Duarte, 2013; Neves, 2015a, 2015b).

A HfG-Ulm dirigida por Maldonado, mesmo sem dispor de computadores, é considerada, por vários autores, como de grande importância para o começo do desenho digital arquitetônico (Rocha, 2004; Neves, Rocha e Duarte, 2013; Neves, 2015a, 2015b). De acordo com Neves (2015b) este aspeto é atribuído ao trabalho realizado pelo corpo docente, merecendo particular destaque o matemático Horst Rittel como principal mentor da introdução de uma metodologia científica no ensino da escola

(Krippendorff, 2005; Buchanan, 2009; Neves e Rocha, 2013; Neves, 2015b). Alguns autores, nos quais se incluem antigos alunos de Rittel, consideram mesmo que o convite de Maldonado terá sido baseado na circunstância de este acreditar que o matemático contribuiria para a visão científica da escola, bem como para a ligação da ciência ao design (Figura 4).

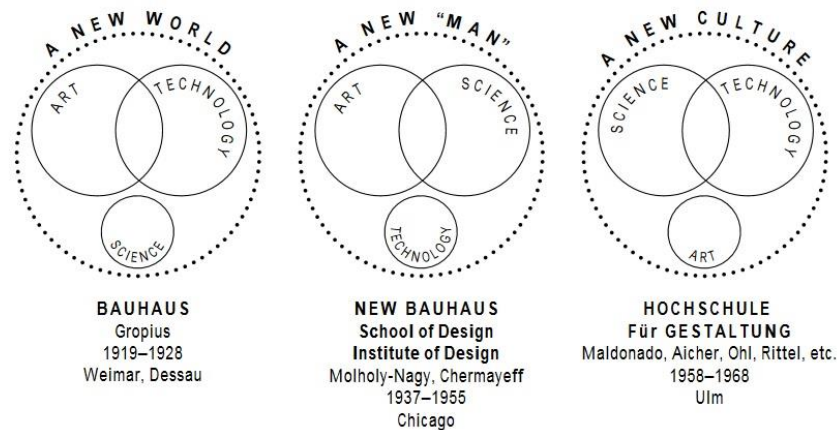


Figura 4 - Relação entre arte, ciência e tecnologia no ensino da arquitetura na Bauhaus, New Bauhaus e HfG Ulm (Findeli, 2001)

Na HfG-Ulm, a ciência no desenho, trazida por Rittel, sem recurso a meios informáticos, serviria para criar algumas das bases para o que se seguiu ao nível do desenho arquitetónico digital, através de mudança das práticas de projeto de grau superior à simples utilização do computador como máquina de desenho. Com a metodologia de Rittel, o processo de desenho passou a considerar métodos científicos e a utilizar heurísticas (Buchanan, 2009; Neves, 2015b). Segundo Neves e Rocha (2013) Rittel foi mesmo considerado como o “funil” que transferiu conhecimento da ciência e engenharia da Segunda Guerra Mundial e do Pós Guerra para o Design (Rith e Dubberly, 2006).

O próprio Rittel (1972) explicará que começou a desenvolver a sua metodologia científica, pela circunstância de em 1960, não ter tido obtido resultados satisfatórios ao aplicar ao planeamento, novos métodos de projeto. Desta forma, Rittel começou a por em causa os fundamentos da metodologia de desenho. O trabalho de Rittel dava destaque à fase de preparação e planeamento para o design, baseado em sistemas de investigação e no uso de informação para apoio à decisão e como forma de lidar com sistemas complexos. Envolveria, também, mecanismos participativos num processo social de elaboração de decisão nas organizações (Rittel, 1972; Neves, 2015b).

O período de docência de Rittel em Ulm, acabaria por terminar em 1963 quando foi convidado para lecionar em Berkeley, EUA pelo reitor William Wurster do College of Environmental Design, uma escola de Arquitetura Paisagista e Planeamento Regional e Urbano. Em Berkeley, continuaria a desenvolver a sua metodologia que acabaria por ser incluída num movimento de metodologias que teve o principal desenvolvimento entre 1962 até 1972, designado por *Design Methods*. Rittel, consideraria em 1972, que a sua metodologia de projeto se inseria nos *Design Methods* de primeira geração. Em Berkeley ajudaria a fundar o *Design Methods Group* (DMG) em 1966 e o *DMG Journal* em 1972 (Rittel, 1972; Buchanan, 2009; Neves e Rocha, 2013; Neves, 2015b).

1.5 Design Methods

Os *Design Methods* são considerados métodos científicos e sistemáticos no processo de projeto onde o desenho assume um papel fundamental (Bayazit, 2004). De acordo com Rittel (1972), o movimento surgiu na transição dos anos cinquenta para os anos sessenta, com a simples ideia de utilizar métodos de resolução de problemas na National Aeronautics and Space Administration (NASA) e nas áreas do desenho militar e civil. Os seus membros defendiam uma visão sistémica e introduziram uma série de métodos que enfatizavam uma abordagem rigorosa, racional e científica do desenho, baseada na análise e lógica matemática e na sua aplicação no processo de conceção de projeto (Bayazit, 2004; Neves, 2015a, 2015b).

A primeira conferência sobre *Design Methods* foi realizada em 1962, no Imperial College, em Londres, sob o título *Conference on Systematic and Intuitive Methods in Engineering, Industrial Design, Architecture and Communications* (Jones e Thornley, 1963) (Figura 5). Esta promoveu uma reflexão sobre o desenho de projeto como uma atividade que ultrapassava as fronteiras disciplinares, num claro antecipar de um conjunto de ideias que no final da década Jean Piaget (1972) viria a definir como transdisciplinaridade. O principal objetivo da conferência foi reunir académicos e industriais, das áreas de engenharia, arquitetura, de planeamento, construção civil, design industrial, gráfica, psicologia e cibernética, para explorar a aplicação de métodos científicos ao desenho criativo, procurando ligar a ciência à arte (Jones e Thornley, 1963; Jones, 1966; Cross, 1993; Bayazit, 2004; Protzen e Harris, 2010; Lacerda, 2012).

Os participantes propuseram novos métodos de projeto e novas descrições do processo de desenho (Jones e Thornley, 1963; Jones, 1966). A lista de participantes incluiu nomes como Gordon Pask, da área da cibernética, John Christopher Jones, das áreas de engenharia, ergonomia e design industrial ou Christopher Alexander, arquiteto e matemático (Jones e Thornley, 1963; Lacerda, 2012).

O *Design Methods Movement* desenvolveu-se através de uma série de conferências nas décadas de sessenta e setenta: Londres, 1962 (Jones e Thornley, 1963) Birmingham, 1965 (Gregory, 1966) Portsmouth, 1967 (Broadbent e Ward, 1969) Cambridge, Massachusetts, 1969 (Moore, 1970). Destas merece destaque a última, pela participação de Horst Rittel e pela presença de vários pioneiros do desenho arquitetónico digital, como: Christopher Alexander, Nicholas Negroponte e Charles Eastman (Jones e Thornley, 1963; Lacerda, 2012).

O *Design Methods* publicou vários livros, merecendo destaque um dos primeiros, em 1962, *Introduction to Design* publicado por Morris Asimow, engenheiro químico e professor da UCLA e que se focava no desenho de engenharia. Outra importante publicação foi lançada em 1965, *Systematic Methods for Designers* de L. Bruce Archer, que tal como Rittel, foi professor da HfG Ulm, tornando-se, mais tarde, diretor da Unidade de Investigação de Design do Royal College of Art (Bayazit, 2004; Cross, 2007).



Figura 5 - Capa do livro da primeira conferência de Design Methods - *Conference on Systematic and Intuitive Methods in Engineering, Industrial Design, Architecture and Communications*, London, 1963 (Jones e Thornley, 1963)

Associado a este movimento, emerge a tese do arquiteto e matemático, Christopher Alexander, em 1962, *The Synthesis of Form: Some Notes on a Theory*, em Harvard que viria a ser editada como livro, em 1964, conhecida *pele título* "Notes on the Synthesis of Form". Esta é usualmente considerada a primeira tese de doutoramento em *Design Methods* (Bayazit, 2004; Steenson, 2014).

Outras obras de relevo do *Design Methods* são publicadas por John Christopher Jones, (1970), *Design in architecture: architecture and the human sciences* de Geoffrey Broadbent (1973) (Cross, 1986, 1993, 2007; Bayazit, 2004).

De acordo com, Nigel Cross (1993), um dos nomes dos *Design Methods* e antigo presidente da Design Research Society, com o avançar da década de setenta, começou a existir um sentimento de rejeição dos *Design Methods* pelos seus próprios pioneiros, em particular, Christopher Alexander. Porém, outros elementos, como John Christopher Jones, efetuaram várias tentativas para salvar o movimento. A maior seria protagonizada por de Horst Rittel, em 1972 (Cross, 1993, 2007), através de uma proposta de "gerações de métodos" sugerindo que os desenvolvimentos dos anos sessenta eram apenas a primeira geração de métodos. A primeira geração teria sido baseada na aplicação sistemática de métodos científicos, enquanto, a segunda geração, nos anos setenta, seria caracterizada por um afastamento da otimização e pela procura de soluções meramente satisfatórias. A ideia de solução satisfatória ia ao encontro do conceito de *satisficing* desenvolvido pelo economista Herbert Simon, que viria a ser prémio Nobel em 1978. Herbert Simon foi o autor do livro *Science of the Artificial*, publicado em 1969, que incluía um capítulo dedicado à *Science of the Design* que pretendia apoiar o desenvolvimento de pesquisas voltadas para a busca de soluções de projeto (Simon, 1956, 1969; Cross, 1993, 2007).

1.6 Ecological Landscape Design

Ecological Landscape Design surge do carácter científico do método de desenho da paisagem de McHarg e do ceticismo em relação às divisões disciplinares na ciência. Para Ian McHarg (2001), as ciências estavam fragmentadas e o seu método ecológico servia exatamente o propósito de unir as

contribuições de cada disciplina, para que o resultado fosse a representação ecológica de uma região (Carlsson, 2013).

O arquiteto paisagista Ian McHarg foi o fundador do Department of Landscape Architecture na Universidade de Pensilvânia nos Estados Unidos de América. Segundo Anne Whiston Spirn (2000), professora no MIT e antiga aluna de McHarg, o arquiteto foi o mais influente arquiteto paisagista dos EUA desde Frederick Law Olmsted. Spirn, considera-o uma figura fulcral para o desenvolvimento do ensino e da profissão de arquiteto paisagista (Spirn, 2000). Se por um lado, McHarg é reconhecido como importante figura do movimento ecologista dos anos sessenta, por outro é considerado um importante precursor dos sistemas de informação geográfica (SIG) por ter incluído no seu método ecológico a sobreposição de mapas em camadas - *Layers*. Tais camadas correspondiam a diferentes disciplinas, servindo para avaliação de aptidão de projetos, sobretudo, à escala regional.

No âmbito desta investigação, a sobreposição de mapas reveste-se de maior importância, uma vez que constitui uma metodologia de desenho apoiada no conhecimento de diversas ciências. A capacidade científica de McHarg permitiu o desenvolvimento do seu método ecológico que seria a base, tanto dos SIG, como o padrão para a homologação de estudos de impacto ambiental como forma de atribuição responsabilidades pela degradação do ambiente (McHarg, 2001, 2014; Swaffield, 2002; Orr, 2007; Herrington, 2010; M'Closkey *et al.*, 2017).

Segundo Steiner (2002), Anker (2010) e John-Alder (2014) os responsáveis pelo desenvolvimento da Ecologia foram treinados na tradição da Bauhaus. Neste grupo, encontra-se McHarg que estudou em Harvard, no tempo em que Gropius era diretor do Departamento de Arquitetura da Graduate School of Design. O escocês, não sendo aluno das turmas do mestre alemão, relacionava-se com este, enquanto delegado académico, através de reuniões semanais de representantes de estudantes e diretores de departamento (Anker, 2010).

McHarg juntou conteúdos de diferentes ciências como forma de ficar capacitado para a elaboração de um desenho final, o mapa composto, fruto da justaposição de *layers* (McHarg, 2001; Carlsson, 2013). Assim, a sobreposição de mapas pode ser considerada, também, uma união de ciências e, sobretudo, uma união de ciências pelo desenho. Nos anos sessenta, McHarg considerava necessárias as contribuições das diferentes ciências para elaborar um produto final com um conhecimento científico mais vasto (McHarg, 2001; Carlsson, 2013). Apesar da dificuldade de encontrar profissionais de cada disciplina científica com capacidade de aprendizagem de outras disciplinas, e em particular de desenho, o conceito de desenhos em *layers* de McHarg contribuiu para uma standardização de processos nos sistemas CAD e SIG.

Apesar de ter denominado o método como ecológico e do grande contributo deste para a “revolução ecológica” dos anos sessenta, o método ultrapassava a ciência ecológica e usava várias ciências. O método era, pois, uma utilização da ciência no desenho, um processo de desenho sistemático e faseado (Swaffield, 2002).

Contextualizando, a figura de Ian McHarg, é importante referir que Ian Lennox McHarg nasceu, em 1920, perto de Glasgow, na Escócia, Reino Unido e morreu no estado americano da Pensilvânia em 2001. Combateu como paraquedista na Segunda Guerra Mundial. Finda a Guerra, rumou aos EUA

para estudar Arquitetura Paisagista e Planeamento Regional e Urbano em Harvard na Graduate School of Design (GSD) (McHarg, 1996; MchHarg *et al.*, 2007).

Em Harvard, MchHarg, tornou-se representante dos estudantes e nessa qualidade privava semanalmente com Walter Gropius, antigo diretor das Bauhaus que enquanto docente da GSD não lecionava as disciplinas de Arquitetura Paisagista nem de Planeamento Regional e Urbano, frequentadas por MchHarg (Pearlman, 2007; Anker, 2010).

Apesar da influência, enquanto estudante, e de nutrir grande admiração pelo antigo diretor da Bauhaus, MchHarg estava longe de ser um seguidor acrítico, criticando, por exemplo, a falta de valorização da arquitetura tradicional pelo modernismo de Gropius. Pelo contrário, antigos alunos do alemão como I. M. Pei ou os associados de Gropius, Chip Harkness e Ben Thompson eram para MchHarg (1996) seguidores fiéis, a ponto de os classificar como um “Gropius multipessoa”. Não obstante estes factos, Gropius era uma fonte de inspiração para MchHarg, nomeadamente ao nível da utilização ciência na arquitetura. Uma coisa é certa, MchHarg será porventura o mais importante nome dos discípulos de Gropius ao nível do design ambiental (McHarg, 1996; Spirn, 2000; Anker, 2010; John-Alder, 2014).

Findos os dois cursos de mestrado em Harvard, MchHarg regressaria à Escócia, onde trabalhou na função pública em planeamento regional e urbano e deu aulas em Glasgow e Edimburgo entre 1950 e 1954 (Spirn, 2000; MchHarg *et al.*, 2007; Anker, 2010)

Em meados dos anos cinquenta, MchHarg era detentor de dois *masters*, em arquitetura paisagista e em planeamento regional e urbano, obtidos na GSD de Harvard, universidade onde o primeiro curso norte-americano de planeamento regional e urbano tinha começado em 1909, dentro do departamento de arquitetura paisagista (Spirn, 2000).

Embora os primeiros professores arquitetos paisagistas de planeamento regional e urbano de Harvard manifestassem interesse em temáticas das áreas sociais e ambientais, os paisagistas que continuaram a lecionar arquitetura paisagista em Harvard, depois da instituição do curso de planeamento, dedicavam-se sobretudo ao projeto de parques e jardins. No final da década de quarenta, quando MchHarg era aluno da GSD existia uma clivagem entre os dois cursos que MchHarg voltou a unir, com a sua formação. Na sua atividade docente, MchHarg reutilizaria essa união, uns anos mais tarde (Spirn, 2000).

Nos EUA, arquitetura paisagista e planeamento regional e urbano partilhavam uma história comum, ainda mais antiga que o curso de planeamento da Harvard GSD, uma vez que os primeiros planos regionais e metropolitanos do século XIX tinham sido desenvolvidos por arquitetos paisagistas para o sistema de parques. Estes planos incluíam usos recreativos, transporte e drenagem e viriam a constituir a base teórica para futuros desenvolvimentos urbanos. Esse grupo de paisagistas que incluía Frederick Law Olmsted e os filhos John Charles e Frederick Law Olmsted Jr., englobava, também, o conjunto dos primeiros presidentes da *National Conference on City Planning* (Spirn, 2000).

MchHarg, ao contrário da generalidade dos paisagistas, residentes nos EUA, na década de cinquenta, interessava-se, pois, por planeamento, enquanto a maioria não tinha o interesse ou o conhecimento para aumentar o âmbito da sua formação com a vertente do planeamento (Spirn, 2000).

O ensino de MchHarg tendia, pois, para ser uma fusão entre arquitetura paisagista e planeamento regional e urbano. Desta forma, o seu livro *Design with Nature* (1969) seria um grande contributo para

uma série de mudanças na docência universitária e na prática profissional de arquiteto paisagista, com a aplicação de regras sistemáticas que vinham da ciência. Estas regras, sendo primeiro encaradas como abordagens radicais foram, anos mais tarde, assimiladas ao ponto de ainda hoje continuarem a ser utilizadas como prática corrente (Spirn, 1997, 2000).

Quatro anos de vida profissional e acadêmica na Escócia contribuiriam decisivamente, para o regresso de McHarg ao país onde fizera os estudos superiores, para ser docente universitário na University of Pennsylvania (abreviadamente Penn). No início da década de cinquenta, o reitor da escola de belas-arts da Penn era G. Holmes Perkins que tinha vindo da Harvard GSD. Perkins que, também, tinha sido o orientador de dissertação de McHarg, tinha para a sua escola, um plano simples de mudança curricular. No primeiro ano purgava a escola da tradição e incluía no programa a arquitetura moderna, no segundo ano, introduzia curso de o planeamento urbano e no terceiro, o curso de arquitetura paisagista. Talvez pela aptidão para implantar as ideias propostas, McHarg na sua autobiografia, escrita na década de noventa, consideraria a escola de belas artes da Penn, um fruto da visão de Perkins e da sua capacidade de contratar um corpo docente à altura dos seus objetivos (McHarg, 1996).

A criação de um renovado curso de Arquitetura Paisagista na Penn, tinha sido idealizada pelo reitor Perkins como algo distinto do curso anterior à guerra, mais vocacionado para jardins de moradias e outras propriedades privadas. O ensino de arquitetura paisagista na Penn tinha estado parado desde os tempos da Segunda Guerra Mundial até 1954 e na visão de Perkins, o curso deveria regressar mais vocacionado para o desenho de espaços públicos (McHarg, 1996).

No ensino académico da arquitetura paisagista, tal como no ensino da área de planeamento urbano, existia, naquele tempo, uma grande falta de literatura que pudesse fazer parte da bibliografia dos currículos. Desta forma, a primeira área de investigação em arquitetura paisagista da escola de belas artes da Penn, seria precisamente o desenvolvimento de uma bibliografia profissional, atualizada, sobre o papel público da arquitetura paisagista. Tal tarefa de investigação seria confiada por Perkins a McHarg (Laurence, 2006).

Como já havia sido referido, McHarg depois de acabar o curso, no início da década, tinha voltado para a Escócia por via de um convite para ser adjunto do diretor geral de planeamento da Escócia. Saturado da vida na Escócia e após uma doença grave, tuberculose, escreveria, em 1954, a Perkins a inquirir sobre hipóteses de trabalho na Penn. Em menos de uma semana, o antigo orientador aceitou o orientando como novo professor auxiliar de planeamento regional e urbano, com a responsabilidade de criar um departamento e um curso de arquitetura paisagista. Apesar da rapidez na perspectiva de mudança, a viagem naval transatlântica de McHarg seria protelada devido às dificuldades de aceitação de um emigrante com passado de tuberculose pelos EUA (McHarg, 1996).

De início, McHarg era, na Penn, um professor auxiliar do curso de planeamento do Department of Land and City Planning, mas o objetivo traçado por Perkins era claro, um renovado curso de arquitetura paisagista com um novo currículo académico. McHarg via a profissão de arquiteto paisagista nos EUA dos anos cinquenta como uma profissão com reduzida ambição, tanto ao nível académico como da prática profissional em que a maior parte dos arquitetos eram pouco inspirados. McHarg visava mudar

o estado da profissão através da criação de um currículo de curso melhor que seu próprio, da GSD de Harvard (Herrington, 2010).

O próprio McHarg na sua, autobiografia (1996), considerará que a GSD de Harvard dos anos quarenta e cinquenta era uma influência dominante na Arquitetura e Planeamento Urbano e que Walter Gropius teria levado para o Massachusetts, o espírito da Bauhaus, a ponto dos estudantes da GSD se considerarem como a vanguarda da profissão. Para McHarg, o modernismo na arquitetura era, também, o compromisso com a tecnologia, parte de uma revolução social com casas para os desfavorecidos e melhores ambientes urbanos (McHarg, 1996; Pearlman, 2007; John-Alder, 2014).

Na Harvard GSD, dos anos quarenta, Gropius apenas lecionava arquitetura, no planeamento existia Perkins e a arquitetura paisagista era o claro parente pobre, já sem a presença de Frederick Law Olmsted Jr. que deixara a docência mais de vinte anos antes. A arquitetura paisagista lecionada em Harvard nos anos quarenta não fugia à regra do EUA e era, para McHarg, pusilânime, anacrônica e dedicada exclusivamente de projetos de jardins e pequenos parques (McHarg, 1996; Pearlman, 2007). Convém referir que as mudanças no ensino e nos currículos efetuadas por Perkins e McHarg na Penn, estavam intimamente relacionadas com o passado na Harvard GSD em que o reitor era Joseph Hudnut, mas a figura mais influente e de reconhecimento internacional era o diretor do departamento de arquitetura, Walter Gropius. Como já referido, a importância de Gropius em McHarg era grande, mas para Perkins não era menor (Figura 6).



Figura 6 - Gropius e McHarg em 1950 na apresentação da dissertação do último em que o professor era júri (McHarg, 1996)

O reitor da Penn e antigo orientador do escocês considerava Gropius, uma figura revolucionária que transpirava essa característica bem como a ideia de ser o grande mestre evangelizador da arquitetura. Perkins que nos tempos de Gropius, chegara a diretor do departamento de planeamento, tinha um fascínio por Gropius que começara bem cedo, uma vez que este enquanto professor na GSD, tinha sido escolhido pelo reitor Hudnut para ser seu emissário a Londres com a incumbência de convencer Gropius a rumar a Harvard (McHarg, 1996; Pearlman, 2007; Anker, 2010).

Convém, no entanto, salientar o aspeto da relação da escola de belas artes da Penn com a GSD de Harvard, ser bem mais profunda que os passados académicos de Perkins e McHarg. Tal aspeto, prende-se com o facto de que com a reforma forçada de Gropius pela reitoria aos setenta anos, em 1953, vários professores como William L. C. Wheaton, Martin Meyerson, Blanche Lemco e Robert Geddes, saíram da GSD de Harvard, em desacordo com a direção da universidade e aliciados por Perkins que tinha saído de Harvard para a Penn, no início de década de cinquenta. (McHarg, 1996; Pearlman, 2007; Anker, 2010). A história era simples, a insatisfação generalizada do corpo docente da GSD tinha sido aproveitada por Perkins para levar grande parte deste para a Penn. Podendo se considerar que Perkins e a Penn capitalizaram uma situação lastimável na GSD, após a saída de Gropius, ao ponto de em Harvard, o jornal da universidade *The Crimson*, falar de uma escola sem rumo. De facto, o departamento de arquitetura da GSD possuía, à data, um diretor interino, tinha perdido o quadro de professores, preenchido por substitutos temporários, dando origem a um mau ambiente que referido jornal apelidaria de pobre atmosfera para o desenvolvimento académico (McHarg, 1996; Pearlman, 2007; Anker, 2010).

Após dois anos como professor auxiliar no Department of Land and City Planning, McHarg fundaria, em 1956, o Department of Landscape Architecture, sendo o responsável pela constituição do respetivo corpo docente. Entre os docentes e investigadores encontravam-se arquitetos paisagistas como Karl Linn, arquitetos como o britânico Gordon Cullen, o holandês Aldo Van Eyck ou a americana Denise Scott-Brown e como convidados, os arquitetos paisagistas Garrett Eckbo, Dan Kiley e Robert Royston, o arquiteto e futuro primeiro prémio Pritzker, Philip Johnson, o escritor Lewis Mumford e Peter Shepard britânico que era arquiteto e arquiteto paisagista (Spirn, 2000).

Seria o apoio da Rockefeller Foundation que permitiria a McHarg, de acordo com as diretrizes de Perkins, reabrir o curso de Arquitetura Paisagista na Penn. A partir de 1957, o curso teria uma disciplina dedicada ao estudo das Paisagens Urbanas. Em 1959, McHarg começa lecionar a disciplina / seminário denominado “Man and Environment” que envolvia professores convidados de outras áreas científicas e que servia para a investigação de concepções científicas da matéria, da vida e do homem (McHarg, 1996; Ghenoïu, 2012).

Outro acontecimento importante para o curso de arquitetura paisagista da Penn, seria 1959 a organização pela escola, com o apoio da Rockefeller Foundation, do *Design Criticism Symposium*. McHarg era um dos organizadores de um simpósio que marcava um ponto alto no novo urbanismo visual da época, tendo entre os participantes nomes como Lewis Mumford, Kevin Lynch, Jane Jacobs e Louis Khan. Importância do evento é grande uma vez que Lynch, no ano seguinte publicaria *The Image of the City*, um resultado de anos de pesquisa conjunta com o colega do MIT e artista plástico Gyorgy Kepes e Jacobs publicaria *The Death and Life of Great American Cities*, em 1961, ambos, também, com o apoio da fundação (Lynch, 1960; Jacobs, 1961; Ghenoïu, 2012).

McHarg tal como outros arquitetos paisagistas como Lawrence Halprin interessava-se pela cibernética de Norbert Wiener (1961) e esta contribuiu para as suas novas abordagens às alterações da paisagem por via da sua ecologia científica. McHarg tal como os professores do MIT, Kepes e Lynch ou, mesmo, Alexander era influenciado pela cibernética na sua visão da cidade (Ghenoïu, 2012; Steenson, 2017).

Importa realçar que McHarg e Lynch, apesar das diferenças enquanto planeadores urbanos, partilhavam a convicção que a cidade devia ser vista no seu contexto regional e que a morfologia urbana era um resultado da história cultural e natural da região e que ambas tinham de ser incorporadas no desenho da cidade (Spirn, 1985).

Em 1969, McHarg publicaria o seu *bestseller*, *Design with Nature* que como um livro que vendeu 350.000 exemplares e atingiu públicos para lá da arquitetura paisagista, mas que, também, ao nível da crítica teve reconhecimento, a ponto de ser finalista National Book Award. Foi um livro fundamental que serviu para mudar o ensino e a prática da profissão de arquiteto paisagista, através da aplicação sistemática de um conjunto de regras vindas da ciência e da ecologia em particular. O livro serviu, também, para apresentar as ideias de McHarg, incluindo o método ecológico, a públicos mais vastos, uma vez que ao nível do ensino da arquitetura paisagista o curso da Penn já era dos mais conceituados a nível mundial. As ideias científicas de *Design with Nature* haviam mesmo sido em grande parte desenvolvidas na disciplina / seminário *Man and Environment*, do curso da Penn, começada dez anos antes (Spirn, 1997, 2000).

Em *Design with Nature*, McHarg, deu a conhecer a um público mais vasto que a análise de aptidão começava com a compreensão dos valores intrínsecos da paisagem e da ordenação desses valores. Demonstrou que processos naturais e sociais podiam ser classificados como valores e analisados conjuntamente através de mapeamento e, sobretudo, que sobreposição dos mapas era uma técnica de análise gráfica para compreensão e atribuição da escala final de valores (Deming e Swaffield, 2011). No entanto, a abordagem científica e ecológica não seria bem-recebida especialmente por aqueles que promoviam a arquitetura paisagista, simplesmente, como forma de arte. De facto, McHarg tinha atacado tal visão, para lá do próprio título, ao considerar a ecologia um imperativo para o desenho (Spirn, 1997).

No entanto a publicação e o sucesso de *Design with Nature* (Figura 7) tinha de ser interpretada no contexto da conquista espacial americana, da década de sessenta, culminada com a chegada do homem à lua no ano da sua edição. A própria capa, da primeira edição, não pode ser dissociada do programa espacial uma vez que McHarg, no final de 1968, quando estava a escrever o livro, teve a feliz coincidência deste ser o período em que a Apollo 8 teve o primeiro módulo não tripulado enviado à lua que enviou fotografias da terra vista do espaço, o que possibilitou a McHarg escolher uma dessas fotos para a capa do seu livro (Anker, 2010).

McHarg (1969) evocava a conquista espacial como forma de alertar para os problemas ambientais do Planeta Terra, com analogias entre a sobrevivência do astronauta possibilitada pela nave e cápsula espacial e a terra como ambiente para a sobrevivência do homem. Iria até mais longe ao considerar a conquista espacial como uma forma da humanidade contornar o exaurir dos recursos terrenos (Anker, 2005, 2010).



Figura 7 - Capa original de *Design with Nature* com a fotografia da Terra tirada pela Apollo 8 (McHarg, 1969)

As origens do conteúdo de *Design with Nature* eram bem mais terrenas e reavultavam da experiência académica e profissional de McHarg. As origens do livro estão relacionadas com o facto de em 1965, um membro do governo americano, o então secretário do interior, Stewart Udall nomear McHarg para membro de um grupo de trabalho do American Institute of Architects sobre a bacia do Rio Potomac (perto de Washington). McHarg, no ano letivo de 1965-1966, decidiu usar as suas aulas práticas na Penn para gerar informação, explorar assuntos e consequentemente contribuir para se tornar num líder do grupo de trabalho. *Design with Nature*, era em grande parte uma súmula desse trabalho, sobre o Rio Potomac, resultante das aulas práticas e do trabalho com os alunos que já incluíam grande parte dos componentes do método ecológico, como a sobreposição de mapas e a matriz de aptidão de usos (Spirn, 2000).

A sobreposição de mapas era uma parte do “método ecológico” de McHarg que começava por uma fase de recolha de dados ou de inventário. O “inventário ecológico” de McHarg era sistemático, de fácil compreensão e com a capacidade de relacionar aspetos do ambiente diferenciado. Podia mesmo ser considerado comparável com o diagnóstico da medicina quando aplicado de forma consistente, uma vez que efetuava uma verificação de sintomas. McHarg usava o inventário no ensino na Penn, mas também no gabinete de que era sócio, a Wallace McHarg Roberts and Todd (WMRT), embora com algumas adaptações, neste caso, servindo, por vezes, para revelar dados importantes processo de que o cliente não estava a par (Spirn, 2000).

O processo de elaboração do inventário era prévio à sobreposição de mapas e era tão sistemático que era repetitivo, ao ponto dos estudantes o denominarem de ladainha. O carácter repetitivo, prendia-se com o facto de a lista de conjuntos de dados ser sempre a mesma, com clima, geologia, hidrologia, solos, vegetação e vida selvagem. A ordem dos elementos estava relacionada com o modo como McHarg observava a evolução física da região. O clima e a geologia serviam para interpretar a fisiografia e a configuração da região. Após ser detido o conhecimento da fisiografia era possível compreender os regimes das águas e era possível conhecer aquíferos e regimes de cheias. Com este conhecimento era possível apreender a evolução das plantas e passar para a compreensão da natureza e dos solos. Com a compreensão de fisiografia, zonas climáticas e solos, era possível perceber a distribuição das comunidades de plantas, dependendo destas a distribuição da vida animal,

uma vez que os animais comiam plantas ou, então, outros animais que comiam plantas. A informação assim recolhida constituía o inventário ecológico em bruto e era a base de dados para os estudos sobre a região (Spirn, 2000; Carlsson, 2013; McHarg, 2014).

O processo de inventário de McHarg pode ser considerado de documentação metodológica da técnica de sobreposição de mapas, tendo McHarg, também, documentado as vantagens do seu método para o conhecimento da ecologia do local de estudo. Para McHarg só poderia existir conhecimento sobre uma região se mesma fosse tida como um o processo biofísico e social através do tempo (Steiner, 2012).

A sobreposição de mapas não era a parte inovadora do “método ecológico”, mas o conjunto da sobreposição e da informação reunida. A metodologia de sobreposição não era de facto original e de acordo com o Professor de Yale e especialista em design de informação e visualização de dados, Edward Tufte (1997) remontava à medicina do século XIX e à utilização em mapas de localização de casos na epidemia de Cólera em Londres, 1854, pelo médico britânico John Snow que, também, foi anestesista da Rainha Victoria (Tufte, 1997; Herrington, 2010).

Mesmo na Arquitetura Paisagista norte-americana, a ideia de sobreposição já tinha cerca de cinco décadas nos anos sessenta, uma vez que no início do século XX, a sobreposição tinha sido utilizada por Warren Manning, arquiteto paisagista que trabalhava para o *atelier* dos filhos de Frederick Law Olmsted, o pai da Arquitetura Paisagista norte-americana e projetista do Central Park de Nova Iorque (Olmsted, 1870; Fabos, Milde e Weinmayr, 1968; Herrington, 2010).

A sobreposição de layers de mapas não era original sequer na arquitetura paisagista dos anos sessenta, uma vez que Philip Lewis, professor da University of Wisconsin–Madison e consultor do departamento de desenvolvimento de recursos do Estado do Wisconsin utilizara a técnica de sobreposição para avaliar recursos naturais, nomeadamente vegetação, em 1964 (Steiner, 2012).

Mas a abordagem de McHarg, estava cheia de inovações, era baseada tanto em informação de atributos naturais, como de atributos resultantes da intervenção humana, sendo ambos, individualmente, cartografados como mapas transparentes de acetato referentes a cada atributo. Os mapas transparentes tinham uma escala de valores claros e escuros, para zonas de maior e menor aptidão, respetivamente, sendo no fim todos sobrepostos, numa mesa de luz. Como consequência surgem mapas compostos que funcionavam como uma radiografia contra a luz, resultante de sobreposição, um mapa de aptidão do solo (McHarg, 1969; McHarg, Steiner and Yaro, 2007; Steiner, 2012).

Cada acetato continha um atributo, um mapa de uma disciplina específica, sendo o objetivo de trabalho de McHarg e do seu método, o de reconstruir a informação do ambiente da região dividida por diferentes linguagens científicas. Para a reconstrução do ambiente, era necessária uma avaliação da informação de cada mapa. Apesar da necessidade de calibração do sistema caso a caso, McHarg podia estabelecer quatro valores principais que podiam ser atribuídos aos processos naturais. O primeiro valor era qualidade intrínseca do processo natural, o segundo a produtividade do processo, o terceiro, a manutenção do equilíbrio ecológico e o quarto era dedicado à atribuição de valores negativos, denominados perigos potenciais decorrentes do uso de processos ou recurso natural (McHarg, 1969; Carlsson, 2013).

O especialista de cada disciplina efetuava a atribuição nas zonas do mapa, dos pesos dessa disciplina, originando um mapa de cinzentos-claros e escuros. Após a elaboração para todas as disciplinas previstas era possível a sobreposição, resultando um mapa composto da justaposição das disciplinas. Os processos mais lentos como a geologia eram colocados em baixo e os mais rápidos como os processos sociais e culturais eram colocados em cima, totalizando, em regra, oito mapas de acetato, resultantes dos inventários anteriormente referidos, geologia, fisiografia, solos, hidrologia, clima, vegetação, vida selvagem e fenómenos socioculturais (McHarg, 1969; Carlsson, 2013).

De acordo com o já anteriormente referido, McHarg não era o inventor da sobreposição de mapas, mas a forma como utilizou a sobreposição, em planeamento regional e urbano, era uma revolução face às utilizações precedentes. A sobreposição de mapas pode mesmo ser considerada como a base do modelo ecológico de McHarg. A sobreposição correspondia à referenciação espacial dos dados inventariados previamente no inventário aos quais eram atribuídos pesos para o processo de apoio à decisão no desenho de planeamento (Carlsson, 2013).

O mapa composto, era, para McHarg a imagem reveladora da verdade aquele, em era integrada tanto a informação dos elementos naturais como dos sociais e que permitia um melhor apoio à decisão de quem projetava. Com esta ferramenta de apoio à decisão, o planeador ficava na posse de uma capacidade de projetar o desenvolvimento futuro, de forma mais próxima da progressão intrínseca da natureza. A inovação ao nível da análise residia, ainda, no facto da análise propiciada pelo mapa composto ser complementada elementos gráficos como sejam cortes e perspectivas e com relatórios técnicos, matrizes de aptidão e de compatibilidade entre usos, diagramas, árvores de decisão (McHarg, 1969; Herrington, 2010; Carlsson, 2013).

O método consistia, pois, para o seu autor, em *identificar* os processos naturais e sociais como valores e era feito com o objetivo de criar um mapeamento revelador de áreas que tivessem um máximo benefício social com um mínimo custo social (Carlsson, 2013). No entanto, apesar das vantagens sociais, uma das limitações que foi apontada, à sobreposição de McHarg, prendia-se com o facto de juntar informação demasiado díspar e dar demasiado peso à ciência em detrimento da intuição (Spirn, 2000; Herrington, 2010).

Originalmente, em meados da década de sessenta, o processo de sobreposição de mapas de McHarg, era totalmente analógico, tal como anteriormente descrito e, envolvendo a sobreposição de películas de acetato que nas décadas seguintes foram sendo substituídas, rapidamente, por processos computadorizados não interativos e, depois, pelos sistemas de informação geográfica (Spirn, 2000; Herrington, 2010).

Em termos de metodologia de desenho, McHarg, no método ecológico, desenvolveu uma forma de combinar aspetos representacionais e de síntese dos processos, para uma qualquer área de estudo. O método era prático e a síntese não era separada do processo de representação como nos processos computacionais. Nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) digitais, da atualidade, a síntese e o cálculo estão separados da representação e a informação digital, ao contrário da informação do método ecológico, não é estratificada. A não estratificação dos SIG prende-se com o facto de estes estarem organizados em estruturas topológicas orientadas para assegurar a eficiência, tanto ao nível do cálculo,

como da visualização. Apesar de ambos os métodos possuírem camadas (*layers*) e dos SIG herdarem muito do método de McHarg, o tratamento da informação é diferenciado (Carlsson, 2013).

Em suma, McHarg inovou ao criar um método de desenho baseado em várias ciências. O maior dos seus contributos, é o da criação de um processo para fundir informação transdisciplinar para propor um *output* para esse processo que consistia numa peça desenhada. O mapa composto era a forma que McHarg dava ao ambiente que no final tinha uma transformação visual para efeito de apresentação através do recurso a um desenhador que podia, ou não, ter conhecimento científico que fazia a tarefa de restituição da cor (McHarg, 2001; Chrisman, 2006; Carlsson, 2013).

2. Revolução na indústria: Computação e Arquitetura

No segundo capítulo, é descrita a relação entre design e indústria. Esta não tem a sua génese no século XX, mas foi neste que se percebeu as vantagens desta associação e sobretudo se concretizou. De facto, muito dos objetos que fazem parte da contemporaneidade, nunca poderiam ter sido produzidos sem o conhecimento científico aplicado da computação. É a partir da necessidade de produção de soluções industriais inovadoras que a integração da computação no processo de projeto tem uma intervenção inicial na planificação e clarificação das problemáticas pois será uma ferramenta que serve principalmente para auxílio à decisão técnica e económica.

O processo de conceção utilizado pelos fornecedores dos principais construtores da indústria automóvel, aeronáutica e militar integram, na sua estruturada metodologia, a simbiose entre a construção com geometria e desenho com números.

2.1. Indústria Automóvel

Se, de acordo com Carpo (2011), a história das *splines* ainda terá de ser escrita, desde os tempos das *splines* mecânicas de borracha usadas, sobretudo, para o desenho de aeronaves e navios e se consideramos que na atualidade, as *splines* digitais são de grande importância para o desenho arquitetónico, um pequeno contributo poderá passar por visar a história de dois engenheiros franceses da indústria automóvel, Pierre Bézier e Paul de Casteljaou.

Com Bézier e Casteljaou, entre 1959 e 1962, antes mesmo do CAD bidimensional, a base do futuro CAD tridimensional estava já a ser delineada. Tal base era estabelecida através de algoritmos que constituem a matemática dos NURBS e de outras *splines* utilizadas nos programas de CAD da atualidade, desenvolvidos, inicialmente, para a indústria automóvel francesa. De facto, ambos os matemáticos, visaram melhorar o sistema de produção automóvel e prestaram uma grande contribuição para que a referida indústria estivesse em condições, anos mais tarde, de abandonar os desenhos técnicos em papel (Farin, 2002; Carpo, 2011).

No entanto, existia uma grande diferença entre ambos, Bézier tinha um cargo de direção na Renault e Casteljaou na Citroën, não. E se Bézier que também era académico, participava em congressos nos Estados Unidos, Casteljaou, apesar de doutorado, não podia divulgar o seu algoritmo e a sua abordagem matemática de definir superfícies tridimensionais, devido à política da Citroën que

pretendendo ter uma vantagem competitiva no mercado automóvel, não divulgava o seu trabalho. Desta forma, Casteljau foi privado do reconhecimento do seu mérito científico até 1974, data em que a Citroën finalmente permitiu a divulgação. Talvez por este último motivo, o trabalho de Bézier é mais conhecido que o de Casteljau (Bézier, 1983; Farin, 2002; Weisberg, 2008).

Contrariamente a Bézier que se doutorou após se reformar da Renault, Casteljau já era doutorado quando foi contratado pela Citroën, em 1958, com o objetivo de solucionar problemas teóricos relacionados com conversões analógico-digitais. Casteljau, começou, então, a desenvolver um sistema destinado a resolver o problema de desenho de curvas através de uma nova abordagem que substituiu, o então utilizado, desenho de plantas e cortes no formato analógico. Desta forma, Casteljau adotou os polinómios desenvolvidos pelo russo Sergei Bernstein, em 1911, para uma definição de curvas e superfícies, criando, em 1959, aquele que hoje é conhecido como o Algoritmo de Casteljau (Bézier, 1983; Farin e Hansford, 2000; Laurent e Sablonnière, 2001; Farin, 2002)

Bézier era funcionário da Renault, desde 1934, chegando a diretor de serviço em 1952. Em 1962, começa a desenvolver o sistema de CAD e CAM (Computer Aided Manufacturing) da empresa, que ele próprio tinha proposto à direção. Tal desenvolvimento foi iniciado com a descrição de superfícies curvas para as carroçarias dos automóveis. A descrição matemática de superfícies, originaria aquelas que viriam a ser conhecidas como as Curvas de Bézier. Tal como Casteljau, Bézier baseava o cálculo das suas curvas (Figura 8) nos polinómios de Bernstein (Bézier, 1983; Weisberg, 2008).

Após dez anos de desenvolvimento e testes, o sistema CAD/CAM da Renault estava pronto para ser utilizado no processo fabril. Dois anos depois, o CAD/CAM de Bézier, estava a ser usado na quase totalidade da produção da empresa. O sistema seria batizado como UNISURF (Bézier, 1983; Weisberg, 2008).

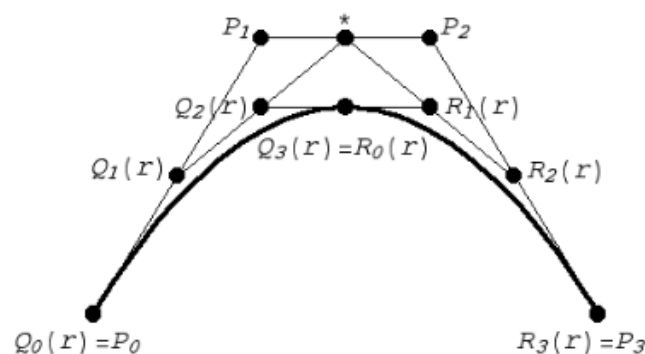


Figura 8 - Curva de Bézier com triângulo calculado com Algoritmo de Casteljau (Goldman, 2004)

Em 1976, o fabricante aeronáutico francês Avions Marcel Dassault-Breguet Aviation (atualmente Dassault Aviation) adquiriu a tecnologia à Renault, como componente de um novo Sistema que estava a desenvolver para o fabrico de aviões militares, nomeadamente o avião de combate *Mirage*. O novo Sistema foi inicialmente denominado como de definição e realização de aviões por computador (*Définition et Réalisation d'Avions Par Ordinateur* – DRAPO). O Sistema da Dassault, combinava, também, partes do software CADAM (Computer-graphics Augmented Design and Manufacturing),

desenvolvido pelo fabricante de aviação militar, Lockheed, no final dos anos sessenta, numa fase em que Steven Coons era consultor da empresa (Bézier, 1983; Weisberg, 2008; Llach, 2012, 2015a; Perry, 2014).

O DRAPO entrou ao serviço da produção industrial em 1975. Três anos depois, a Dassault daria origem a uma versão tridimensional denominada de CATI (Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive) que, em 1981, seria renomeado CATIA (Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application). Em 1989, começaria a ser utilizado pelo *atelier* de Frank Gehry, com a colaboração do professor universitário William Mitchell (então docente em Harvard), para a elaboração da superfície da escultura do peixe da Vila Olímpica de Barcelona com cerca de 50 metros de comprimento. O *atelier* de Gehry estabeleceria uma parceria com a *Dassault* que mais tarde daria origem à empresa de consultoria de desenho e construção *Gehry Technologies* (Shelden, 2002; Weisberg, 2008; Llach, 2012, 2015a).

Os algoritmos de Casteljaou e Bézier, tal como as superfícies *Coons Patches* de Steven Coons, constituem elementos fundamentais para o desenho arquitetónico tridimensional da acuidade com vasta utilização de *Non-Uniform Rational B-Splines* (NURBS) e de outras splines. As *Coons Patches*, apesar de terem começado a ser formuladas nos anos quarenta, anteriormente ao CAD, serão abordadas conjuntamente como os grandes contributos de Coons ao nível do projeto CAD do MIT (Llach, 2012, 2015a).

Na edição dos contributos de uma das primeiras conferências de desenho geométrico assistido por computador (Computer Aided Geometric Design - CAGD), em 1974, os editores da publicação referiam que Bézier e Coons tinham papel fundamental no CAGD, o que era evidenciado pela maioria dos oradores com citações dos seus trabalhos pioneiros ao ponto dos principais tópicos da conferência e respetiva publicação fossem as *Coons Patches* e as curvas de Bézier (Barnhill e Riesenfeld, 2014).

Dentro dos avanços do desenho digital na indústria automóvel merece destaque, do lado americano, a General Motors (GM) que, em 1952, no seu General Motors Research Laboratories (GMRL), já usava um computador digital para análises científicas. Em 1958 começaram estudos internos para um programa do desenho digital. Em 1963, já depois da tese de *Sketchpad* estar defendida, a GM deu a conhecer e colocou a ser utilizado na produção, o sistema DAC-1 que funcionava num computador IBM (Krull, 1994; Kalay, 2004; Weisberg, 2008).

2.2 Indústria Aeronáutica

Na indústria aeronáutica como no automóvel, também, foram dados importantes passos no sentido da evolução do desenho digital. A este respeito, merece especial destaque o trabalho desenvolvido pela Boeing Airplane Company e em particular a contribuição de William Fetter, que trabalhava na empresa como diretor artístico (Fetter, 1966; Negroponte, 1966; Franke, 1985; Perry, 2014).

William Fetter era um designer gráfico que trabalhava na Boeing, na transição das décadas de cinquenta para sessenta. Em 1960, Fetter criou a primeira forma humana digital num sistema de desenho automático não interativo no sistema *Landing Signal Officer* (LSO) (Fetter, 1966, 1982; Negroponte, 1970; Perry, 2014).

A referida criação da forma humana digital esteve, também, na origem da criação do termo “*computer graphics*” criado pelo superior hierárquico de Fetter na Boeing, Verne L. Hudson, para descrever o seu trabalho com as formas humanas nos simuladores, apesar da origem do termo ser atribuída, muitas vezes, diretamente, a Fetter. A Verne L. Hudson, deve-se não só a denominação mas também a autorização para o desenvolvimento e a publicação dos sistemas de Fetter, pela circunstância de ter sido a chefia da Boeing que autorizou o desenvolvimento dos sistemas LSO e *Boeing Man*, o que por exemplo, não aconteceu na Citroën, com Casteljau (Fetter, 1982; Perry, 2014; Gaboury, 2016).

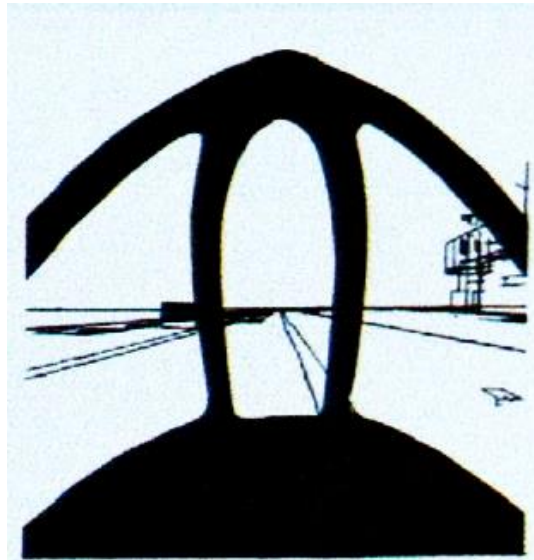


Figura 9 - Frame de filme de uma animação gerada por computador, William Fetter (Negroponte, 1970)

Como o próprio Fetter (1982) sublinhou, os gráficos de computador, nos anos sessenta, não constituíam apenas um feito ao nível técnico, sendo, também, uma nova etapa na arte de comunicação visual (Figura 9).

No campo da arte digital, Fetter foi amplamente reconhecido com diversos prémios. Destes, merece destaque o prémio da competição *Computers and Visual Research* que obteve em Zagreb, Croácia (então Jugoslávia), em Agosto 1968 no coloquio “Computers and Visual Research” que teve como jurados, entre outros, Umberto Eco e Martin Krampen, competindo com importantes nomes da arte digital como os membros do Bell Labs, A. Michael Noll Leon D. Harmon, Kenneth C. Knowlton ou o pioneiro alemão da arte digital Frieder Nake e onde estiveram, ainda, presentes importantes nomes como o cientista e escritor Herbert W. Franke. Fetter, também, marcou presença na importante exposição de arte digital *Cybernetic Serendipity*, em Londres, Agosto de 1968 (Fetter, 1966; Franke, 1985; Klütsch, 2005; Nake, 2007; Dreher, 2014; Medosch, 2016).

De facto, no desenho digital arquitetónico, a importância do trabalho de Fetter começou a ser reconhecida, ainda nos anos sessenta, com a participação enquanto congressista no primeiro congresso relativo ao desenho com computadores em arquitetura denominado “Architecture and the Computer” que decorreu em Boston em 1964. No congresso em que participaram importantes arquitetos como sejam o então recém Doutorado de Harvard, Christopher Alexander, o seu orientador e *keynote speaker* Serge Chermayeff, o investigador de ciência artificial Marvin Minsky e o veterano

Walter Gropius. Pela primeira vez, um grande grupo de arquitetos teve acesso a imagens de capturas de écran de CAD apresentadas por Fetter (CAD não interativo) e por Steven Coons, professor do MIT que apresentou imagens de *Sketchpad*, o primeiro CAD interativo (Negroponte, 1970; Rocha, 2004; Kassem, 2014; Allen, 2016).

Fetter sairia da Boeing em 1970, indo, mais tarde chefiar o Design Department da Southern Illinois University onde trabalhou com Buckminster Fuller (Fetter, 1982; Perry, 2014).

2.3 Indústria Militar

Nas primeiras décadas do Pós-Segunda Guerra Mundial, na época denominada como Guerra Fria, a investigação do MIT em computação gráfica, era baseada em financiamento com fins militares. Nesta estavam incluídas investigações em áreas que estão na origem do CAD e do CAM. Vários autores afirmam mesmo que o MIT se tornou no maior recetor de fundos públicos de investigação da Guerra Fria, época em que os computadores eram demasiado dispendiosos (Weisberg, 2008; Llach, 2012, 2015a; Perry, 2014).

De facto, tal como em outros campos de investigação digital, o CAD surge, inicialmente, de projetos financiados pelo Departamento de Defesa e pela Força Aérea americana que envolviam, também, a indústria de defesa americana em que a investigação estava previamente dirigida para a produção e aeronaves e respetivos componentes (Weisberg, 2008; Llach, 2012, 2015a; Perry, 2014). Os fundos militares americanos financiariam, de facto a computação, durante várias décadas, desde o fim da Segunda Guerra Mundial. Uma das componentes da investigação da computação mais estimulada foi a das interfaces de interação humana com a máquina. Neste campo, o primeiro computador digital com *display* gráfico, o *Whirlwind*, seria desenvolvido no MIT, especificamente no *Servomechanisms Laboratory* do departamento de engenharia eletrotécnica, com fundos da marinha.

O financiamento do *Whirlwind* estava relacionado com a circunstância de ter sido desenvolvido com a finalidade de correr um programa de simulador de voo de bombardeamentos destinado a tripulações de bombardeiros. O monitor do *Whirlwind*, seria, pois, um periférico pioneiro, dispondo de um *display* gráfico de tubo de raio catódico (*cathode ray tube* - CRT) de 256 por 256 píxeis como interface (Llach, 2012, 2015a, 2015b; Perry, 2014).

O *Whirlwind*, começado a idealizar logo no final da guerra, só estaria pronto em 1951. No início da década de cinquenta, já o interesse da marinha no computador tinha desvanecido, sendo reutilizado pela força aérea e pelo MIT no sistema Semi-Automatic Ground Environment (SAGE). O SAGE tinha a faculdade de converter os dados de radar em informação gráfica no monitor, permitindo ao utilizador fornecer dados com uma caneta ótica (*light-pen*) (Llach, 2012, 2015a, 2015b; Perry, 2014).

De acordo com Llach (2015b), foi no *Whirlwind*, ao serviço do SAGE, que foram desenvolvidos os primeiros desenhos elaborados por computador digital no MIT (Figura 10). Tais desenhos, resultantes, ainda, de sistema não interativo, foram elaborados com recurso à primeira linguagem para controlo de máquina, denominada *Automatically Programmed Tool* (APT) (Weisberg, 2008; Llach, 2012, 2015a, 2015b, 2017).

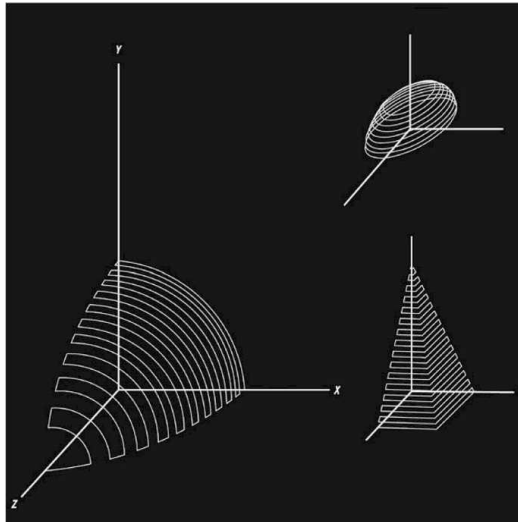


Figura 10 - Reconstrução efetuada por Daniel Cardoso Llach (2015a) de um desenho original produzido pelo Whirlwind utilizando linguagem APT

A referida linguagem APT, tinha sido inicialmente concebida para controlar uma fresadora, mas tornar-se-ia em poucas décadas num standard na indústria aeronáutica dos anos setenta. A APT foi desenvolvida sob a coordenação de Douglas Ross que viria a ser um dos codirectores do Projeto CAD, juntamente com Steven Coons (Weisberg, 2008; Llach, 2012, 2015a, 2015b, 2017).

Em termos de desenvolvimento de computadores digitais com display gráfico no MIT, ao Whirlwind e demais computadores do SAGE afetos à instituição, seguir-se-ia o Zeroth Transistorized Computer, com a denominação comum abreviada de TX-0, em 1956, seguido pelo ainda mais avançado TX-2, em 1958. No TX-2 viria a ser desenvolvida a Tese de Doutoramento de Ivan Sutherland, *Sketchpad: A man-machine graphical communication system* (McKenzie, 1999; Weisberg, 2008).

Parte II - O começo da mudança

“A arquitetura já não precisa de ser gerada por convenções estáticas de plano secção, elevação. Em vez disso, as construções podem ser agora totalmente idealizadas por modelação tridimensional, perfilhação, prototipagem e implementação de softwares, interfaces e hardwares, anulando assim, as etapas entre conceituação e fabricação, produção e construção, cálculos e experiência espacial”

(Zellner, 1999, p.13, tradução, Piazzalunga, 2004, p.46)

“ ... nova tecnologia – nova arquitetura ...”

(Sola Morales, 1995, p.24)

“ ... primeiro nós modelamos as ferramentas; depois as ferramentas nos moldam ...”

(McLuhan, 1964, p.9)

“Um desenhador comum não está preocupado com a estrutura do seu material de desenho. Caneta e tinta ou lápis e papel não possuem estruturas inerentes. Eles apenas fazem marcas no papel. O desenhador preocupa-se principalmente com os desenhos como representações do projeto em evolução. O comportamento do desenho produzido pelo computador, por outro lado, é criticamente dependente da estrutura topológica e geométrica construída na memória do computador como resultado de operações de desenho. O desenho propriamente dito tem características independentes das características dos objetos que ele descreve.”

(Sutherland, 1975, p. 73)

A segunda parte da dissertação é dedicada aos pioneiros do desenho arquitetónico digital, com especial foco no Projeto CAD do MIT. Os anos sessenta do século XX, são marcados pelos primeiros passos na criação de uma máquina para desenhar. O desenvolvimento de interfaces gráficas foi sendo incorporado na prática projetual da arquitetura, ampliando progressivamente as possibilidades e os modos de dialogar com mecanismos tecnológicos.

Nos anos sessenta e setenta testemunha-se uma grande quantidade de publicações de teses de doutoramento que procuram inovação científica nos métodos utilizados no processo de com conceção de projeto. Duas pesquisas na área da computação gráfica, marcam, em particular, a mudança para o desenho digital, a primeira é desenvolvida por Steve Coons e Larry Roberts e a segunda por Ivan Sutherland.

A sociedade entra na era pós-industrial onde a vida cotidiana é cada vez mais regulada pelo processamento e disseminação de informação através de computadores (Mitchell e McCullough, 1995). No entanto, é importante sublinhar que os primeiros computadores ocupavam salas inteiras e eram grandes calculadoras programáveis capazes de armazenar programas (Lévy, 2001). Durante bastante tempo reservados a militares, passam a ser mais tarde acessíveis, ainda que de forma restrita, às grandes universidades e indústrias com fins científicos (Mitchell e McCullough, 1995).

O MIT, desde o fim da Segunda Guerra Mundial vinha desenvolvendo vários projetos financiados pelo Department of Defense, tanto pela marinha como pela força aérea americana. Os engenheiros do MIT reinventaram o desenho através da linguagem da máquina, sobretudo através do *Computer-Aided Design (CAD) Project* (Gorges, 2003; Llach, 2012, 2015a).

Em 1959, o *Electronic Systems Laboratory* apresentaria o APT publicamente, através de uma conferência de imprensa. O diretor do laboratório J. Francis Reintjes e a equipa tinham já considerado a possibilidade de prosseguirem a investigação do APT, através da programação gráfica. Para o referido efeito, nesse ano foram efetuadas as primeiras reuniões com a divisão de desenho do departamento de engenharia mecânica representado, entre outros, por Mann e Coons. Nas referidas reuniões ficou decidida a elaboração de tutoriais com a discussão de estudos para a programação gráfica do processo de desenho de engenharia mecânica. As séries de reuniões terão estado na origem do acrónimo CAD (Gorges, 2003; Llach, 2012, 2015a).

O projeto CAD do MIT era financiado por três contratos consecutivos com dois serviços da instituição, o *Electronics Systems Laboratory and the Design* e a *Graphics Division at the MIT Department of Mechanical Engineering*. O objetivo dos contratos de financiamento militar era a melhoria do desenho no fabrico de aviões, mísseis e respetivos componentes para a Força Aérea americana (Gorges, 2003; Llach, 2012, 2015a). O projeto CAD envolvia dois departamentos e dois serviços distintos, o laboratório de sistema eletrónicos (*Electronic Systems Laboratory*) do departamento de engenharia eletrotécnica (*Electrical Engineering Department*) e a divisão de desenho (*Design Division*) do departamento de engenharia mecânica. Deste modo, e de forma a assegurar a representação dos dois serviços, o projeto tinha dois codirectores de cada uma das duas especialidades, Douglas Ross do *Electronic Systems Laboratory* e, inicialmente, Robert W. Mann pela *Design Division*. Posteriormente o codirector do departamento de engenharia mecânica passaria a ser Steven Coons (Llach, 2012). Desde a primeira reunião que ficaram combinados seminários conjuntos, entre as equipas dos dois serviços (Ross, 1961; Johnson, 1963; Ross e Ward, 1968; Hurst *et al.*, 1989; Weisberg, 2008; Llach, 2012).

O *Electronic Systems Laboratory* era o novo nome do *Servomechanisms Laboratory* que desde o início dos anos cinquenta investigava o desenvolvimento de programas de computador, para o controlo numérico de máquinas. Douglas Ross, o representante do *Electronic Systems Laboratory* no projeto CAD, como anteriormente referido, tinha sido mesmo o coordenador do desenvolvimento de uma linguagem para controlo de máquina, a APT que teria, anos mais tarde, um uso generalizado na indústria aeronáutica (Gorges, 2003; Llach, 2012, 2015a).

Na denominação adotada, *Computer-aided design*, o hífen entre *computer* e *aided* e terá sido uma condição de Mann para vincar que o desenho era assistido. Desta forma Mann, Coons e a restante equipa da divisão de desenho, procuravam vincar a ideia de que o ato de desenhar era um processo humano e que o utilizador era assistido pelo computador e não o computador a substituir a mão de obra de desenho. O computador podia, pois, assistir os engenheiros que desenhavam, mas não os substituir. A Mann e Coons, se deve pois o acrónimo que corresponde à designação mais conhecida, atualmente, de prática de desenhar num computador (Weisberg, 2008; Downey, 2014).

Convém esclarecer que para além de terem criado o acrónimo CAD, os participantes do projeto CAD do MIT foram responsáveis, também, por terem criados as bases científicas para uma

série de inovações digitais, como seja a comunicação gráfica interativa, os gráficos computacionais tridimensionais, a visão por computador ou a programação orientada por objeto (Llach, 2017).

Em resumo, o projeto CAD era a junção de duas equipas de dois departamentos de uma Universidade, o MIT. A equipa de engenheiros eletrotécnicos chefiada por Douglas Ross e equipa de desenhadores chefiada por Steven Coons (depois da saída de Mann). De um lado, os cientistas e do outro, os projetistas com experiência de desenho de projeto. Dito de uma forma simplificada e mais comum na atualidade, a junção dos informáticos com os desenhadores (Llach, 2015a).

Do lado dos desenhadores, a atenção centrava-se na análise do processo de desenho, tendo estes, cedo chegado à conclusão de que um dos principais objetivos do projeto teria de ser o desenvolvimento da introdução de comandos pelo utilizador para processamento de dados gráficos e saída desses dados em monitores de tubo catódico. Tais monitores que não eram mais que osciloscópios modificados para serem écrans vetoriais (Gorges, 2003).

Do lado dos informáticos, o desenho era encarado como uma especificação geométrica que podia ser calculada desde que o problema do desenho fosse representado numa linguagem formal. Visão contrária à dos desenhadores que consideravam o desenho como um a atividade humana (Llach, 2015a).

Importa referir que do lado dos informáticos do ESL, o desenvolvimento da linguagem APT, trazia, também, a experiência no controlo numérico de máquinas. A linguagem de programação APT, através do recurso a fitas de papel perfuradas, controlava uma fresadora. Este controlo de uma máquina por uma computador era denominado por Ross, em 1958, de programação automática da primeira ferramenta mecânica totalmente controlada numericamente (Ross, 1958; Perry, 2014; Llach, 2015b) (Figura 11).



Figura 11 - Fita de papel perfurada que servia para transmitir comandos a computadores não interativos, como no caso da linguagem APT desenvolvida por Douglas Ross (Llach, 2015a)

Apesar das diferentes visões entre os informáticos e os desenhadores, o coletivo conseguiu concluir, em maio de 1959, uma proposta para a divisão da força aérea americana responsável pelo fabrico de material (*Air Force's Air Materiel Command*). Em resumo, pode ser dito que era proposto como objetivo principal do contrato proposto, conceber uma máquina de desenho. A proposta teve sucesso e dela

resultou o primeiro contrato de um total de três que financiaram o projeto CAD do MIT entre 1959 e 1970 (Fano, 1964; Hurst *et al.*, 1989; Weisberg, 2008; Llach, 2015a).

A partir de 1963, o projeto CAD passou a fazer parte de um grande projeto interdepartamental do MIT, ainda na área de defesa, denominado project MAC (*Machine-Aided Cognition*) celebrado com a agência militar ARPA (*Advanced Research Projects Agency*) através da Marinha (*Office of Naval Research*) e que tinha como objetivo, a resolução de problemas através da colaboração próxima entre utilizador humano e o computador (Fano, 1964; Hurst *et al.*, 1989; Weisberg, 2008; Llach, 2015a).

Para além da conceção da máquina de desenho, a proposta considerava, ainda, a investigação de técnicas de representação e manipulação de informação do desenho, incluindo o desenvolvimento de comunicações entre o humano e o computador, utilizando monitores de tubo catódico, *light-pens* e teclados, à data mais conhecidos por máquinas de escrever. A proposta continha, pois, uma visão mais interativa do desenho e mais ligada à equipa de desenhadores (Llach, 2015a).

O primeiro contrato do projeto CAD, foi estabelecido entre o MIT e a divisão de fabrico de material da força aérea americana em dezembro de 1959. O contrato tinha a duração de um ano e garantia o financiamento da investigação do projeto com 223.000 dólares americanos. No contrato, o MIT considerava um gasto de 200 dólares, por hora de utilização do computador, num total de 20.800 dólares por 104 horas de utilização. Aqui se procura demonstrar o custo avultado de utilização de um computador no final dos anos cinquenta, em que quase dez por cento, do custo total de um grande projeto, era de utilização dos meios informáticos e em que três horas de computador custavam o mesmo que ordenado mensal de um engenheiro em início de carreira (Weisberg, 2008).

Também os custos do espaço de armazenamento eram altíssimos com 10MB a custarem 60.000 dólares quando na atualidade 1TB pode custar menos de 50 dólares. Os referidos custos limitavam, também, o desenvolvimento do projeto e implicavam investigação para a eficiência no armazenamento (Weisberg, 2008).

Na equipa do informáticos do laboratório de sistema eletrónicos, Ross era um matemático treinado e a sua principal preocupação era a representação, a questão principal do ponto de vista das aplicações informáticas não era como resolver o problema, mas como formular o problema. Ross e a equipa de informáticos procuravam criar uma teoria de representação que resolvesse qualquer problema (Llach, 2012, 2015a).

Como já referido o laboratório de sistemas eletrónicos, lidava com fresadoras controladas por computador, ou seja, com dados para comando de carretos e brocas, nos projetos anteriores, mas agora tinha um problema ao nível da representação de pontos e linhas ou, mesmo, de elementos mais complexos como casas ou circuitos elétricos. A ideia de Ross era encontrar uma linguagem que permitisse codificar todos esses elementos (Llach, 2012).

Para Ross, um sistema CAD, de uso generalizado, teria uma aplicação quase ilimitada e em diferentes catividades, logo teria de ser um sistema poderoso e complexo, uma vez que o mais simples dos problemas de desenho envolvia sempre várias disciplinas. Para além desta ideia, o sistema de desenho não era para ser utilizado por informáticos, mas por desenhadores e engenheiros que não programavam na linguagem da aplicação do computador. Por outras palavras, o sistema teria de permitir ao desenhador trabalhar sem estar munido de um informático (Ross e Rodriguez, 1963).

O projeto propunha-se, não só, a construir uma máquina de desenho, mas uma máquina de desenho que dispensava informáticos para ser operada. Convém salvaguardar que os computadores, do início do projeto CAD, eram enormes computadores *mainframe*, utilizados quase exclusivamente por profissionais. Para além deste facto, a utilização dos computadores era em regime de tempo partilhado no caso do projeto CAD, o enorme computador IBM 709 não era exclusivo do projeto e era acedido apenas oito horas pelo MIT, sendo restantes dezasseis distribuídas pela própria IBM e por outras universidades da Nova Inglaterra. O projeto usou também os computadores TX-0 e TX-2 (Weisberg, 2008).

Ross e a equipa de informáticos pensavam que a questão principal do desenho era um problema de representação, podendo ser representado, simbolicamente, por código. Na visão de Ross, o desenho por computador podia ser automatizado, tendo este começado a desenvolver linguagens de programação para engenharia que chamou, apropriadamente, de desenho de engenharia automatizado, Automated Engineering Design (AED). Desta forma, Ross procurava automatizar o processo de desenho, através de linguagens de programação, orientadas para resolução problemas. Definitivamente para Ross e ao contrário de Mann e Coons, o desenho por computador era automático (Weisberg, 2008; Llach, 2012, 2015a).

De facto, Coons e Ross tinham visões quase antagónicas do desenho por computador. Para Coons, o computador era um assistente ou associado do desenhador humano, enquanto para Ross, os computadores eram ferramentas universais capazes de automatizar o desenho na totalidade. De um lado, estava a possibilidade de ser criativo, utilizando um computador para desenhar e do outro a inteligência e a máquina. A visão de Coons acabaria por triunfar, a ponto de alguns dos colaboradores do projeto, várias décadas depois, afirmarem que o CAD resultante do projeto de igual denominação, era fruto das ideias de Coons e não das ideias de Ross (Llach, 2015a).

De facto, a interatividade homem – máquina visionada por Coons prevaleceu, apesar dos informáticos de Ross, terem chegado a basear o início da investigação no desenho automático, até como consequência das investigações anteriores para controlo numérico de ferramentas mecânicas. No entanto Coons, tinha desenvolvido teorias e tecnologias de desenho que ultrapassaram a automação prevista pelos informáticos, impossibilitando a programação do desenho através das fitas perfuradas. Apesar de Coons ser reconhecido pelo seu papel na geometria computacional, sobretudo pelas *Coons Patches*, o seu papel como teórico do desenho no projeto CAD não é tão reconhecido. O projeto CAD por via, sobretudo, de Coons foi responsável desenho computacional e, sobretudo, pela forma como o desenho arquitetónico ainda hoje é praticado, sendo também o responsável pela relação interativa homem – computador (Llach, 2015a).

O projeto CAD, também, pode ser considerado a primeira investigação sistemática de interação homem – máquina, ainda antes de Douglas Engelbart, na Universidade de Stanford, no Norte da Califórnia, inventar o rato para interagir com o computador, poucos anos mais tarde (English, Engelbart e Berman, 1967; Licklider e Taylor, 1968; Llach, 2015a).

3. Os pioneiros: CAD ao BIM

O terceiro capítulo centra-se nos cinco pioneiros do desenho digital arquitetónico. O primeiro pioneiro é o engenheiro Ivan Sutherland que desenvolveu no MIT a sua tese de doutoramento, *Sketchpad: A*

man-machine graphical communication system, baseada no software conhecido abreviadamente por *Sketchpad*. Este é considerado primeiro sistema CAD (*computer-aided design*) interativo com interface gráfica. O segundo é Steven Coons, importante figura pioneira do desenho assistido por computador em especial na vertente tridimensional. O terceiro é Christopher Alexander, ao defender a aplicação de métodos sistemáticos baseados na computação. O computador e o CAD suscitaram várias discussões em torno das metodologias de projeto arquitetónico e a tese de doutoramento de Christopher Alexander *Notes on The Synthesis of Form* (1964) marca uma mudança metodológica. O arquiteto Nicholas Negroponte é o quarto personagem da história do desenho digital, ao ser considerado como um dos responsáveis do computador ter sido transformado na máquina cultural que é hoje, e ao ser uma das pessoas que inventou a informática dos media interativos (Manovich, 2013). O último é Charles Eastman apontado como um dos mais antigos defensores das descrições computacionais estruturadas associadas ao CAD e à sua evolução para Building Information Modeling (BIM).

3.1. Ivan Sutherland

Ivan Sutherland nasceu em 1938 e entregou a sua tese de doutoramento, antes dos 25 anos em 7 de Janeiro de 1963, consistindo esta no desenvolvimento do primeiro CAD interativo *Sketchpad: A man-machine graphical communication system* (abreviadamente *Sketchpad*) (Sutherland, 1963a; Kassem, 2014). Sutherland era engenheiro eletrotécnico de formação, com cursos no Carnegie Institute of Technology (depois Carnegie Mellon University mais conhecida pela sigla CMU) e no California Institute of Technology (abreviadamente CalTech), sendo filho de um engenheiro civil, tinha nascido no estado do Nebraska onde o pai trabalhava na construção de uma barragem. Anos mais tarde a família mudou-se para Scarsdale, a Norte da cidade de Nova Iorque (Kassem, 2014).

Na adolescência, Sutherland era já um interessado pela área dos computadores e tinha feito pequenos trabalhos para Edmund Berkeley por volta dos 13-14 anos conjuntamente com o seu irmão mais velho Bert Sutherland. A figura de Berkeley é bastante importante pelo facto de ter sido um dos primeiros cientistas de computadores, pioneiro ao ponto de ser um dos fundadores da Association for Computing Machinery (ACM), em 1947. Berkeley também tinha sido o criador e vendedor de um dos primeiros computadores (ou proto-computadores) pessoais, o Simon, uma máquina calculadora de bobines com uma memória muito limitada. Ivan e Bert Sutherland, em 1953, terão sido mesmo dos primeiros programadores de microcomputadores de sempre, ao conseguirem programar o cálculo da divisão no Simon que apenas tinha capacidade para 24 dígitos (Berkeley, 1950; Clark, 1988; Sutherland, 1989a, 1989b, 1994; Longo, 2015).

Através de Berkeley, e ainda na juventude, Sutherland travou conhecimento com Claude Shannon, o futuro orientador da sua tese, um doutorado do MIT que, em 1948, tinha assinado um artigo revolucionário e fundamental para o mundo conectado digitalmente da atualidade, “A Mathematical Theory of Communication” conhecido na língua portuguesa tanto como “teoria matemática da comunicação” como por “teoria da informação”. Shannon produziu o artigo quando trabalhava na unidade de investigação da telefónica Bell Telephone Company, onde Sutherland o terá conhecido (Shannon, 1948; Sutherland, 1989a, 1989b, 1994; Lavor, 2006; Capurro e Hjørland, 2007; Perry, 2014).

Sutherland começou sua atividade no MIT, em 1960, primeiro com um trabalho de verão, no Lincoln Labs, o laboratório a dezenas de quilômetros do campus do MIT, financiado por fundos da defesa, onde estavam os computadores da instituição nomeadamente o, já anteriormente referido, computador TX-2, descendente do TX-0, um dos primeiros com *display* gráfico. À data em que Sutherland começa a desenvolver a sua tese, o TX-2, era, ainda, um computador experimental, e essa circunstancia terá permitido a Sutherland solicitar alterações a Wesley Clark, responsável pelo desenvolvimento do TX-2 e figura essencial para a tese. Clark havia sido, também, o responsável pela principal interface do *Sketchpad*, a *light pen*, desenvolvida para o sistema de defesa SAGE (Sutherland, 1989a, 1994; Weisberg, 2008; Perry, 2014).

O TX-2, tal como todos os grandes computadores da época, tinha uma utilização dividida entre departamentos e como tal com intervalos de tempo reduzidos destinados a cada um dos alunos de doutoramento. Essa circunstância terá mesmo obrigado Sutherland a fazer uma tese noctívaga, trabalhando no computador a partir das três da manhã. O computador TX-2 era de grandiosas dimensões e, apesar de grande capacidade para a época, tinha algumas limitações. De acordo com a lembrança do próprio Sutherland, no final da década de oitenta, o potencial do TX-2 era um vigésimo do computador Apple Macintosh II de então (Sutherland, 1989a, 1994; Perry, 2014).

Segundo o próprio Sutherland, a motivação para a ideia original do *Sketchpad* poderá ter começado no facto do seu pai ser engenheiro civil e, por este motivo, ter lidado, desde pequeno, com as peças desenhadas do trabalho do pai. Mesmo nas aulas, enquanto criança, Sutherland olhava para as peças desenhadas do pai, uma vez que a mãe tinha o hábito de embrulhar os livros escolares com plantas que sobravam do trabalho do pai e não, como a maioria dos progenitores, com papel de embrulho. Desta forma, o jovem Ivan quando menos atento ao tema de uma aula passava o tempo a interpretar as plantas. Este facto terá contribuído para que Sutherland, ainda criança, aprendesse a ler plantas de engenharia e adquirisse um certo interesse no desenho técnico (Sutherland, 1989a, 1994).

De acordo com o já anteriormente referido, o programa *Sketchpad* foi desenvolvido entre 1960 e final de 1962 no computador TX-2 do Lincoln Labs do MIT. No TX-2, a interatividade do utilizador era garantida por um monitor de sete polegadas, uma *light pen*, por um conjunto de botões, interruptores e manípulos rotativos que garantiam a manipulação dos desenhos, bem como a área e o tamanho da imagem. Os mecanismos para a manipulação do desenho no monitor, revestiam-se de alguma importância pela circunstância de grande parte do que conhecemos hoje de ferramentas de manipulação de desenho digital como *windowing*, *zooming* e *clipping* serem invenções do próprio Sutherland, patenteadas, em seu nome, anos mais tarde (Sutherland, 1972a, 1972b; Hodgman e Sutherland, 1974; Kassem, 2014).

A tese ocupava duas vezes a memória do TX-2, pelo facto das coordenadas serem guardadas em memória e do sistema disponibilizar a visualização de imagens como séries de pontos. Essas grandes limitações de memória tinham impacto na qualidade da imagem e obrigavam a uma resolução máxima de 3000 pontos (Weisberg, 2008).

O desenho era feito por *snap* sobre a coordenada do último ponto do monitor pelo que no ecrã inicial do programa existia a palavra “INK” para servir de guia para coordenada inicial da *light pen* que era arrastada para a coordenada seguinte, desenhando a linha. A execução do programa parava se a *light*

pen fosse agitada mais rapidamente, exigindo pois uma movimentação lenta ao utilizador, por forma a não parar a execução do programa (Johnson, 1963; Sutherland, 1963b; Morash, 1964; Weisberg, 2008). O *Sketchpad*, tal como o próprio título da respetiva tese indicava, era um sistema que usava o desenho com meio de comunicação com o computador, uma vez que dispunha de informação para interpretar o que o utilizador desenhava no monitor. De acordo com as palavras do seu autor na própria tese, *Sketchpad* aumentava o rigor dos desenhos e facilitava a repetição de elementos do desenho. O programa permitia desenhar segmentos de linha ou arcos de círculos e continha informação topológica dos mesmos, permitindo deformações de polígonos através do movimento de vértices (Sutherland, 1963b).

Para Sutherland, o programa *Sketchpad*, em termos práticos, nunca serviu para fazer as peças desenhadas de qualquer projeto, tendo servido apenas para executar a tese e, basicamente, gerar desenhos para a tese. Serviu ainda, para fazer uns desenhos que passaram para a posteridade no filme educacional do MIT sobre o *Sketchpad*, realizado em maio de 1962 (Sutherland, 1962), elaborado com Sutherland aos comandos e produzido ainda sobre uma versão intermédia do programa. A circunstância de não ter servido para elaborar peças desenhadas de desenho técnico, poderá estar relacionada o facto de não ter sido *um software* concebido para ser manipulado por um utilizador final, não informático. Sutherland que continuaria a trabalhar no ramo do *software*, admitiria, anos mais tarde, ter tido com *Sketchpad*, o primeiro impacto da dificuldade de conceção de *softwares* para utilizadores sem conhecimentos de informática (Sutherland, 1963b, 1994).

Para além do orientador Claude Shannon, no comité de tese de *Sketchpad, A Man-Machine Graphical Communication System*, estariam Marvin Minsky, pioneiro da inteligência artificial e que tinha sido um dos responsáveis pela vinda de Sutherland para o MIT, bem como o codirector do projeto CAD, Steven Coons (Sutherland, 1963b).

Sketchpad foi um marco pela sua interatividade gráfica, podendo ser considerado à frente do seu tempo, sendo desenvolvido num computador do tamanho de uma sala e com um monitor do tamanho de um telemóvel da atualidade mas com a faculdade de permitir a inserção de pontos ou linhas com uma *light pen* no monitor (Perry, 2014) (Figura 12).

O MIT apressou-se a mostrar e divulgar o *Sketchpad* quer com o filme de Sutherland já, anteriormente, referido (Sutherland, 1962), quer com demonstrações para estudantes, académicos e jornalistas e isso tornou, *Sketchpad*, também, numa influência única (Llach, 2012; Perry, 2014). O falecido reitor da escola de arquitetura e planeamento do MIT, William Mitchell, grande teórico do desenho arquitetónico digital, disse, no final da sua vida em 2009, que *Sketchpad* era o exemplo de como as teses podem mudar o mundo e que o CAD interativo de Sutherland e os respetivos filmes tinham sido uma grande influência (Mitchell, 2009).



Figura 12 - Ivan Sutherland desenhando no Sketchpad, o primeiro CAD interativo (Llach, 2012)

A interatividade de *Sketchpad*, será caracterizada de maneira peculiar por Steven Coons, poucos anos mais tarde, ao dizer que era um programa que permitia a um homem falar com um computador, não com a sua voz, mas falar graficamente. Com esta frase, Coons que com a saída de Sutherland do MIT, passara a ser o principal divulgador do *Sketchpad*, sintetizava o grau de interatividade atingido pelo *software* num documentário educativo da televisão pública de Boston (Morash, 1964).

Ao criar o *Sketchpad*, Sutherland inspirava-se não só na visão tida por Coons para projeto CAD, mas, também, nas ideias de “Man-Computer Symbiosis” de JCR Licklider (1960). Apesar de não terem trabalhos de investigação em comum, em 1964, no ano seguinte, seria Licklider a ter Sutherland como seu sucessor no lugar de diretor do Information Processing Techniques Office (IPTO) da Advanced Research Projects Agency (ARPA)² (Sutherland, 1989).

A interatividade do programa advinha de dois periféricos, o monitor e a *light-pen* que permitiam a comunicação com o computador, sem recurso às fitas perfuradas para a transmissão de comandos à máquina. Era o primeiro programa em que o desenhador desenhava no computador, sem intermediário e sem a escrita de código que à época seria, provavelmente, efetuada por alguém com maior conhecimento de informática (Kassem, 2014).

Descontando o monitor que desempenhava a mesma função de uma folha de papel, o único intermediário era a caneta como no desenho analógico e o diálogo com a máquina passava apenas pelo elemento gráfico, linha ou ponto (Kassem, 2014).

Devido à dispensa da fita perfurada, *Sketchpad* era um sistema de desenho que podia traçar linhas ou pontos em tempo real. Para além do carácter interativo, deve-se destacar, também, o impacto e a capacidade de inovação de *Sketchpad*, também, ao nível da forma como o computador podia sintetizar

² ARPA era uma instituição dedicada à investigação tecnológica na alçada do Department of Defense (Secretaria da Defesa) americana criada na guerra fria para responder aos avanços tecnológicos espaciais soviéticos personificados pelo lançamento do satélite Sputnik

a representação e ao nível da introdução de novos conceitos em várias áreas da computação como sejam os gráficos dinâmicos, a simulação visual, as restrições de resolução e sistema de coordenadas (praticamente) infinito (Negroponte, 1995).

Se Fetter e a Boeing, uns anos antes tinham criado o conceito de gráficos computadorizados, Sutherland foi o inventor que criou um *software* que lhe permitia produzir diretamente esses gráficos computadorizados de forma interativa, contrariamente aos produzidos por Fetter (Fetter, 1982; Manovich, 2013; Kassem, 2014; Perry, 2014). Não descurando a importância de Fetter para a computação gráfica e o lugar na respetiva história, há a considerar que o salto qualitativo dado por Sutherland através da interatividade de *Sketchpad* era enorme. As coordenadas dos pontos e das linhas passavam a ser definidas pelo utilizador que as observava no monitor e que através da *light pen* as podia modificar ou mesmo copiar, tendo como recurso adicional apenas um painel de botões (Perry, 2014).

Para alguns autores (Wardrip-Fruin e Montfort, 2003; Manovich, 2013), *Sketchpad* na primeira metade da década de sessenta, constituiu um elemento fundamental para o desenvolvimento dos media, nas décadas subsequentes. O professor universitário e teórico de média, Lev Manovich, considera mesmo *Sketchpad* como elemento central na história dos media computacionais (Manovich, 2013). Noah Wardrip-Fruin, professor universitário de média computacional, considera o *Sketchpad* como muito influente para todos os media computacionais, ao nível das simulações computadorizadas de objetos e outras entidades (Wardrip-Fruin e Montfort, 2003). Mesmo no título da sua própria Tese de Doutoramento, Sutherland apresenta já o seu *Sketchpad* como algo mais que um simples novo meio de desenho, descrevendo-o como um sistema de comunicação gráfica entre o homem e a máquina inteligente (Manovich, 2007, 2013).

Sketchpad era mais que uma máquina de desenho e mais do que um “big bang” da computação gráfica (Negroponte, 1995) e da história do CAD, era, também, mais que um sistema de comunicação interativo, sendo, também, o começo da animação computadorizada e, ainda, o primeiro programa de computador a criar instancias e propriedades herdadas entre instancias. Esta última característica abriria caminho para as linguagens de programação orientadas por objetos, de que um dos pioneiros foi Alan Kay, para muitos considerado o pai do computador pessoal (Negroponte, 1995), ele próprio aluno de Sutherland na University of Utah. Para o próprio Kay, *Sketchpad* representava, mesmo, a primeira linguagem de programação orientada por objetos, uma vez que ao contrário de até então, o *software* não seguia uma lista de procedimentos de programação (Kay, 1996; Manovich, 2007; Gaboury, 2015b).

Em resumo e olhando para a memória visual que resta, o filme de 1962 que mostra o *Sketchpad* original (Sutherland, 1962) o mesmo parece ter semelhanças, tanto com um CAD da atualidade, como com um CAD dos anos noventa, mas a questão principal é que foi um sistema desenvolvido no início da década de sessenta quando não existiam quaisquer das técnicas que caracterizam os CAD e que nos são familiares. Antes de Sutherland não existia forma de desenhar curvas através de pontos, nem de ajustar posteriormente esses pontos, nem de fazer a rotação de um objeto na sua totalidade. A ideia principal é de que quase tudo o que identificamos com um CAD, começou com *Sketchpad* (Kassem, 2014).

JCR Licklider que como vimos tinha sido autor de “Man-Computer Symbiosis” (1960) e havia servido de inspiração a Sutherland, referiria que cinco anos depois de *Sketchpad* (em 1968) era frustrante não existirem grandes avanços na interatividade e que as exceções dignas de registo eram os trabalhos de Douglas Engelbart na interatividade online (English, Engelbart e Berman, 1967) e as explorações gráficas de arquitetura de Nicholas Negroponte (1970). Para Licklider, quase no fim da década de sessenta, não existia outro sistema com uma aproximação à comunicação de duas vias entre homem e computador melhor que a proposta por *Sketchpad* em 1963 (Licklider e Taylor, 1968).

A ideia de ser um programa à frente do seu tempo, também, é partilhada pelo teórico de arquitetura e tecnologia e pioneiro do desenho arquitetónico digital, Nicholas Negroponte. Nos anos noventa, este referia que *Sketchpad* foi o “big bang” da computação gráfica, uma investigação de tal magnitude e repercussão que alguns dos académicos da área do desenho tinham demorado uma década a compreender e apreciar toda a sua extensão (Negroponte, 1995).

Após discutir a sua tese, Sutherland que era um militar na reserva (Reserve Officers Training Corps - ROTC), teve necessidade de voltar ao serviço do exército americano. Segundo o próprio, o exército não sabia o que fazer com um doutorado do MIT e por esse motivo teria sido colocado a trabalhar na National Security Agency (NSA) (Sutherland, 1994).

Depois foi colocado no IPTO da ARPA e, ainda em 1964, escolhido para substituir J. C. R. Licklider como diretor. Era um Primeiro-tenente de 26 anos a gerir fundos de 15 milhões de dólares anuais (Roberts, 2001; Ryan, 2010; Isaacson, 2014).

Com os referidos fundos iria contratar para estudar as comunicações, o MIT e, especificamente, o seu amigo velho conhecido das madrugadas do Lincoln Lab, Lawrence (Larry) Roberts com quem, também tinha partilhado o gabinete no referido instituto. Roberts que viria a ser um dos pioneiros da internet, tinha tido, anteriormente, um papel relevante para o projeto CAD do MIT, com uma importante contribuição ao nível da representação gráfica das perspetivas com a sua tese de doutoramento *Machine Perception Of Three-Dimensional Solids* (Roberts, 1963; Sutherland, 1989b, 1994).

Larry Roberts, seria o líder da equipa que concebeu o ARPANET, a primeira rede de transmissão de dados por pacotes entre computadores baseada, em parte, no trabalho do britânico Donald Davies, discípulo de Alan Turing. Roberts criaria a primeira rede com transmissão de pacotes de computador para computador, em 1965, entre o MIT no Massachusetts e SDC (depois UniSYS) na Califórnia (Figura 13). Em relação ao investimento aplicado pela defesa, via ARPA, em investigação científica, Sutherland consideraria, nos anos noventa que o dinheiro gasto se teria pago por si, através das receitas fiscais das empresas e dos empregos que haviam sido criados. Através da participação na ARPANET, Sutherland passaria, também a ser considerado um pioneiro da Internet (Sutherland, 1994; Roberts, 2001; Isaacson, 2014).

Sutherland sairia da ARPA para ser professor em Harvard. No regresso às universidades do Massachusetts, tornar-se-ia, também, num dos pioneiros da realidade virtual através de um dos primeiros *head mounted displays* que ficou conhecido pela alcunha de “Espada de Démoles”, apesar de artigo publicado se intitular “Head Mounted Three Dimensional Display” (Sutherland, 1968; Perry, 2014). Enquanto em Harvard, Sutherland voltou a trabalhar com Steven Coons que tinha colocado a licença sabática no MIT para trabalhar a pouca distância com o antigo aluno. Sutherland ficará em

Harvard só até 1968 e sairá para ser sócio de David Evans, fundando a empresa de computação gráfica Evans & Sutherland e lecionando na universidade de Evans, a University of Utah no estado com o mesmo nome (Sutherland, 1989b, 1994; Llach e Forrest, 2017).



Figura 13 - Ivan Sutherland com o “Head Mounted Three Dimensional Display” (Negroponte, 1970)

Evans, tinha sido professor universitário em Berkeley e voltado, em 1965, à sua universidade de origem, onde iniciaria um curso pós-graduado em estudos de computação gráfica. A dupla Evans e Sutherland, estabelecerá um dos mais importantes e pioneiros programas de investigação em computação gráfica dos EUA dos anos sessenta e setenta (Perry, 2014; Gaboury, 2015a).

Num tempo em que 32KB (10^{-8} vezes o espaço de um disco rígido de 2017) de memória custavam meio milhão de dólares, era necessária uma verba muito avultada para conseguir fazer investigação em computação gráfica numa universidade como a do Utah. O financiamento para o programa de computação gráfica University of Utah viria da Secretaria da Defesa e especificamente da ARPA, onde Sutherland tinha sido chefe de serviço, num total de cinco milhões de dólares por ano e por um período de 3 anos. Tal como no caso dos projetos SAGE, CAD e MAC do MIT, anteriormente referidos, grande parte do financiamento para a computação gráfica vinha da Defesa (Negroponte, 2010, 2014; Perry, 2014; Gaboury, 2015a).

Com uma grande disponibilidade de meios técnicos e humanos, a University of Utah, produziu práticas muito avançadas de representação gráfica que ainda hoje estruturam os sistemas de computação gráfica (Gaboury, 2013, 2015a; Perry, 2014)

A lista de alunos e de técnicas gráficas é de uma grande extensão, uma vez que estes foram os fundadores de empresas como a Pixar, Netscape e Adobe. Por outras palavras, nos anos setenta quem quisesse ser importante na computação gráfica tinha de passar pelo respetivo departamento da University of Utah (Perry, 2014).

Tentando descodificar alguns dos alunos de Sutherland no Utah para demonstrar, também, o alcance da sua catividade docente no Utah. Edwin Catmull seria o autor do primeiro filme de animação digital tridimensional, em 1972, seria, ainda, fundador da Pixar Animation Studios, sendo na atualidade presidente da Walt Disney Animation Studios. James Henry Clark seria fundador da Netscape (que originaria a Mozilla Foundation e o browser Firefox). John Warnock seria o fundador da Adobe Systems criadora do leitor do formato pdf Acrobat Reader. Todos os alunos referidos concluíram doutoramentos

tendo como orientadores Sutherland, no caso de Clark e Warnock ou Coons no caso de Catmull (Warnock, 1969; Catmull, 1974; Clark, 1974; Carlson, 2008; Salomon, 2011; Gaboury, 2013, 2015a; Perry, 2014) .

3.2. Steven Coons

Steven Coons, apesar de ter sido membro do comité de tese de Sutherland e de ter trabalhado com Sutherland em vários projetos, era um professor e investigador de características bem diferentes do autor de *Sketchpad*. Enquanto Sutherland era o aluno exemplar que completou um doutoramento antes dos 25 anos, Coons, na época de *Sketchpad* tinha perto de 50 anos e era o oposto, em termos de percurso académico. Coons era um antigo estudante do MIT, que tinha frequentado engenharia mecânica, do início da década de trinta, sem obter qualquer grau académico. Após desistir das aulas, Coons teve tido, depois, vários trabalhos não qualificados, sendo um desses trabalhos numa fabrica de aviões militares, a Chance Vought Aircraft Co., onde a capacidade técnica demonstrada, terá permitido a sua evolução para desenhador (Herzog, Hatvany e Bézier, 1982; Perry, 2014; Llach, 2015a).

Aparentemente Coons era, também, uma figura peculiar que tinha uma vida que se podia chamar de desorganizada, com dificuldade em acordar cedo e em manter empregos. Ao fim de quase uma década como desenhador de aviões e, devido à sua enorme capacidade, Coons seria repescado para o MIT em 1948 como instrutor de pessoal (*Staff Instructor*) da secção de gráficos de Engenharia Mecânica, pelo chefe desta, o Professor John T. Rule, com quem viria mesmo a escrever um livro de desenho técnico (Rule e Coons, 1961), denominado "Graphics" (Perry, 2014; Llach, 2015a).

Na transição da década de cinquenta para sessenta, Coons era professor auxiliar na divisão de desenho do departamento de engenharia mecânica do MIT. Era, sobretudo, um matemático autodidata e um desenhador que trabalhara na indústria aeronáutica e era uma personagem cheia de problemas mas, ao mesmo tempo, fascinante e inspiradora (Llach, 2012, 2015a).

Não sendo das figuras mais conhecidas do desenho arquitetónico, Steven Coons é sem dúvida das personagens mais influentes ao nível do desenvolvimento da sua componente digital, com importantes contribuições ao nível da introdução de uma cultura de tecnologia no desenho. Alguns autores, em trabalhos de investigação académica (Llach, 2012; Perry, 2014; Gaboury, 2016) consideram, mesmo, Coons como fundamental para o desenvolvimento do CAD e da computação gráfica tal como é desenvolvida no Século XXI.

A importância de Coons começa sobretudo a ser mais valorizada no século XXI com trabalhos académicos que consideram Coons como um elemento essencial para a história do CAD e da computação gráfica. A relevância de Coons leva à sua designação como o teórico do desenho chave do Século XX (Llach, 2015a) ou como o avô da computação gráfica (Gaboury, 2013).

Coons é, pois, uma espécie de herói improvável, podendo ser considerado tão vital para a história do CAD e arquitetura digital como Sutherland. As suas formulações matemáticas, conhecidas como *Coons Patches*, revolucionaram o desenho tridimensional quase ao mesmo nível que o *Sketchpad* de Sutherland que, como anteriormente referido, o próprio Coons esteve bastante envolvido (Sutherland, 1989a; Gaboury, 2013; Perry, 2014; Llach, 2015a).

O que popularizou Coons no universo da computação gráfica, não foi tanto o seu papel de teórico do desenho ou de mentor, mas o facto de ter criado a *Coons Patch* que não era mais do que uma técnica matemática para a representação e manipulação de superfícies tridimensionais em computador. Estas representações 3D eram definidas, inicialmente, de forma não paramétrica por interpolação e, posteriormente, de forma paramétrica baseada em polinómios. Cada *patch* era pois definida pelas 4 linhas limite e suas intersecções, podendo ser manipulada, para a descrição de qualquer superfície no seu interior (Coons, 1967; Defanti e Brown, 1991; Llach, 2012; Peddie, 2013; Perry, 2014).

Em resumo, com as *Coons Patches*, como numa manta de retalhos (em língua inglesa *patches*), qualquer superfície, independentemente do tamanho, podia ser representada através do juncão dos retalhos (*patches*). Coons teria mesmo começado a formular as suas *patches* na empresa de aviação em que trabalhou no início da década de quarenta mas apenas teria a proficiência para as aplicar com a capacidade da computação gráfica das máquinas do MIT dos anos sessenta (Coons, 1967; Defanti e Brown, 1991; Llach, 2012; Peddie, 2013; Perry, 2014).

Mas para além das suas *patches*, Coons seria vital para uma série de desenvolvimentos técnicos em teses de doutoramento relativas a *b-splines*, *NURBS* e *rendering* (Sutherland, 1989a; Gaboury, 2013, 2016; Perry, 2014; Llach, 2015a) (Figura 14).

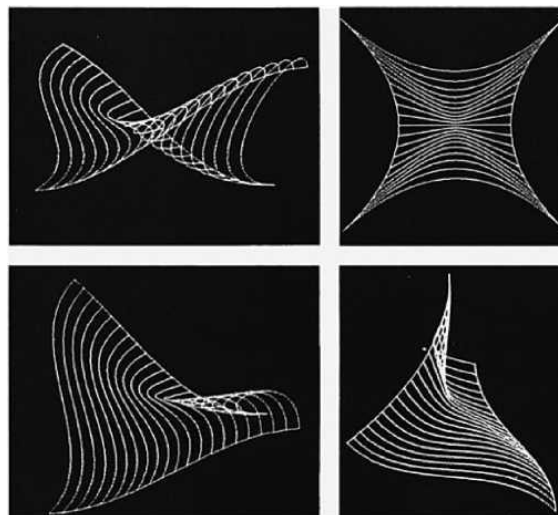


Figura 14 - A Coons patch – uma solução matemática para o problema da representação tridimensional de superfícies complexas (Llach, 2015a)

Como vimos na secção dedicada ao projeto CAD do MIT, Coons acreditava na necessidade de uma parceria simbiótica entre homem e computador e que o todo da junção tinha um potencial intelectual superior à soma das partes. O *Sketchpad* de Sutherland, apesar de ter financiamento autónomo, despontara dentro do projeto CAD e o conceito desse projeto, surgira principalmente das ideias de Coons e não nas ideias de Ross. Coons defendia um computador parceiro ou até escravo (Coons, 1966) e Ross, um computador para desenho totalmente automatizado (Kassem, 2014; Llach, 2015a, 2015b, 2017).

O alcance da obra académica de Coons excedia as *patches* e a responsabilidade pela designação CAD alcançando, também, a responsabilidade pela extensão do *Sketchpad* bidimensional de

Sutherland ao desenho tridimensional, conjuntamente com Larry Roberts e Timothy (Tim) Johnson. Roberts que como anteriormente referido é mais reconhecido como pioneiro da internet, fora, também antes, um dos primeiros a ter uma tese de doutoramento dedicada ao desenho tridimensional por computador *Machine Perception of Three Dimensional Solids*, em 1963, tendo até desenvolvido um software para desenho de objetos tridimensionais com base em fotografia. Johnson fora o autor da dissertação de mestrado, *Sketchpad III, three dimensional graphical communication with a digital computer* que correspondia à versão tridimensional do trabalho de Sutherland e constituía, não só o primeiro Sistema CAD interativo tridimensional mas, também, o primeiro CAD interativo a ter sistema de vistas (*viewports*), em 1963 (Coons, 1963; Johnson, 1963; Roberts, 1963; Kassem, 2014).

Os sistemas de vistas tão utilizados na atualidade, em qualquer CAD tridimensional, foram criados de facto numa dissertação de mestrado orientada por Steven Coons. As *viewports* do *Sketchpad III*, permitiam que o monitor fosse dividido em quatro vistas diferentes do mesmo objeto: em planta, vista frontal, vista lateral e perspetiva num quadrante definido pelo utilizador (Coons, 1963; Johnson, 1963; Kassem, 2014).

Coons idealizava um CAD que pudesse servir desenhadores criativos como é o caso dos arquitetos. Um CAD para desenhadores que começassem o seu desenho no computador sem uma ideia definida, em contraponto a desenhadores técnicos menos criativos com no caso do desenho de engenharia. Para Coons, o computador ficava com o trabalho repetitivo e o homem com trabalho criativo. A visão de Coons para o computador, correspondia a uma máquina universal de representação, o escravo perfeito à ordem do homem que podia ser ou não criativo (Coons, 1966; Kassem, 2014; Llach, 2015a). Apesar do *Sketchpad* ter sido mostrado a estudantes no MIT, a primeira apresentação do sistema num congresso de arquitetos, terá muito certamente acontecido no congresso *Architecture and the Computer*, organizado pela escola superior noturna Boston Architectural Center, no Massachusetts, em 1964. A apresentação, como já anteriormente referido na referência a Fetter, esteve a cargo de Coons que era orador no mesmo dia do congresso que dois importantes vultos da arquitetura, a então jovem sensação, Christopher Alexander e o então veterano, de 81 anos, Walter Gropius. Nesse dia, 5 de Dezembro de 1964, Coons apresentou a arquitetos de várias idades, o artigo denominado “Computer-Aided Design” em que reforçava a importância da simbiose entre arquiteto e computador (Rocha, 2004; Kassem, 2014; Steenson, 2014).

E se o veterano Gropius apoiou o computador com a ressalva da possibilidade de mecanização excessiva, um ideia de domesticação da máquina que lhe vinha da participação na primeira guerra mundial no ramo de cavalaria (Whitford, 1984), Christopher Alexander, um pioneiro do uso de computadores em arquitetura e planeamento urbano, então com 28 anos, era mais céptico com o CAD, resumindo-o a uma simples poupança de dezenas de postos de trabalho de mão de obra não especializada (Rocha, 2004; Kassem, 2014; Steenson, 2014).

A apresentação de Coons foi baseada em imagens de *Sketchpad*, reforçando a ideia da interface gráfica do *Sketchpad* ser uma televisão que era um bloco de desenho simultaneamente. Ainda na sua intervenção, Coons descreveu um futuro, à distância de cinco ou dez anos, em que computadores ajudariam arquitetos e resolveriam os seus problemas, ambos embrenhados no processo criativo do homem. O futuro do CAD, visto em 1964 por Coons, passaria por um sistema de desenho flexível que

se adaptaria às disciplinas que o pretendessem utilizar, como era o caso da arquitetura na componente de fabricação tridimensional (Coons, 1966; Kassem, 2014; Allen, 2016).

No entanto, a visão de Coons e do projeto CAD para um desenho assistido por computador dedicado à fabricação estava muito à frente do seu tempo e os *softwares* comerciais CAD dos anos setenta e oitenta, não deram o devido seguimento a estas ideias, sendo mais baseados no simples desenho bidimensional de pontos, linhas e polígonos e à simples reorientação computadorizada exata do que poderia ser representado no papel (Mitchell, 2001; Llach, 2015a).

A ideia do CAD virado para a fabricação reapareceria, de acordo com Llach (2015a), nos anos noventa, devolvendo o desenho assistido por computador à ideia original de Coons. Após o primeiro “boom” comercial dos CAD que mimetizavam o desenho analógico, uma nova vaga de softwares com representações tridimensionais e indexação de informação, devolveram o desenho arquitetónico digital a uma ideia mas próxima da visão pioneira de Coons, virada para projetos com potencialidades aumentadas pelo computador (Mitchell, 2001; Llach, 2015a).

Coons, em 1967, tinha elaborado o seu relatório final do projeto CAD e divulgado assim, as suas “Coons patches” (Coons, 1967). No entanto, no MIT ainda era um professor associado, na parte de baixo da carreira. Coons tinha um problema maior que não ter doutoramento ou sequer mestrado, não tinha qualquer grau académico e, talvez devido a esse facto, nunca lhe tinha sido dado no MIT qualquer possibilidade de ser um professor (*Full Professor*) de topo de carreira (Herzog, Hatvany e Bézier, 1982; Llach, 2015a).

Coons tinha deixado o MIT, nos anos trinta, sem concluir o curso e a progressão na carreira para *Full Professor* era um horizonte longínquo. De acordo com Timothy Johnson, Coons tinha sido a sua inspiração e a de Sutherland e valia mais que vários *Full Professors* do MIT. Johnson, muitos anos depois garantia que ele e vários outros professores e investigadores questionavam as chefias do MIT pelo facto de Coons ser um dos melhores e não ser promovido (Herzog, Hatvany e Bézier, 1982; Llach, 2015a).

Por estes motivos, Coons com 57 anos, em 1969, optará por sair do MIT, colocando, primeiro, em 1967, uma licença sabática, para ir trabalhar com Sutherland. Necessitando de encontrar um substituto para professor de CAD, devido à sua licença, a escolha recairia sobre o então jovem arquiteto Nicholas Negroponte, seu orientando de dissertação de mestrado (Negroponte, 2010; Steenson, 2014).

Coons aceitaria, pois, em 1969 o convite para ser, finalmente, um *Full Professor* na Syracuse University, na parte Norte do Estado de Nova Iorque. Em Syracuse, tal como no MIT, com Negroponte ou Johnson, Coons deixará descendência nos seus orientandos através da computação gráfica de superfícies tridimensionais (Herzog, Hatvany e Bézier, 1982; Llach, 2012, 2015a).

Em Syracuse, perto da fronteira com o Canadá, Coons criou um laboratório de CAD, dos mais avançados do início dos anos setenta, onde orientou importantes doutoramentos na área das curvas *B-spline* como a tese de Kenneth Versprille, hoje considerado como o pioneiro das *Non-Uniform Rational B-Splines* (NURBS) e Richard Riesenfeld, pioneiro de investigação em *b-splines*. Durante um ano sabático, dedicou-se à investigação com Sutherland, na University of Utah, sendo aí o orientador da tese de doutoramento de Edwin Catmull, autor da primeira animação digital tridimensional, em 1972 (Catmull, 1974; Versprille, 1975; Herzog, Hatvany e Bézier, 1982; Rogers, 2001; Piegl e Tiller, 2012).

Apesar da paternidade da designação e do acrónimo CAD ser um assunto que pode parecer alvo de dúvidas, investigações historiográficas das origens de CAD, como a de Llach (2012), aparentam demonstrar que é seguro afirmar que Steven Coons pode ser considerado o “pai do CAD” ou pelo menos o responsável da designação e do conceito de desenho assistido por computador. Se por um lado, Douglas Ross que faleceu em 2007, clamou ser o pai das ideias originais do CAD, durante vários anos, após a morte de Coons, em 1979. Por outro lado, os membros mais novos do projeto CAD como Timothy Johnson garantiram, já na presente década, que tudo se baseou nas ideias de Coons (Llach, 2015a).

Com a morte de Coons, grande parte do seu legado para o CAD ficou por defender e talvez por isso e com exceção das *Coons patches*, a sua contribuição para o desenho arquitetónico foi menosprezada. Seriam sobretudo os seus amigos e antigos companheiros de ensino que teriam essa tarefa. Bertram Herzog seria um dos principais responsáveis pelo prémio Steven Anson Coons da *Association for Computing Machinery* (ACM), dedicado a premiar os avanços da computação gráfica que seria atribuído ao próprio Herzog, a Sutherland, a Bézier e a alunos de Coons como Edwin Catmull. Outra importante participação na defesa do legado de Coons, seria efetuada pelo seu antigo chefe de divisão de desenho no início do projeto CAD, Robert W. Mann que através da publicação de artigos em revistas científicas em que demonstrava o legado de ambos, indo mais longe, ainda que de modo infrutífero, ao escrever cartas para importantes nomes do desenho arquitetónico assistido por computador como sejam William Mitchell ou Frank Gehry, a pedir o reconhecimento da contribuição do projeto CAD para a arquitetura (Mann, 1993, 2001; Hughes *et al.*, 1995; Wyrick, 2002; Llach, 2015a).

Independentemente da paternidade do CAD pertencer a Coons, no obituário de Coons publicado na revista científica *Computers in Industry*, Pierre Bézier (Herzog, Hatvany e Bézier, 1982) referia que Coons tinha sido o responsável por um dramático progresso nas indústrias naval, aeronáutica e automóvel e que os sistemas que eram usados, no início dos anos oitenta, derivavam do seu trabalho matemático teórico. Coons seria também enquanto orientador de Edwin Catmull, um dos responsáveis por uma revolução no cinema de animação começada com um filme digital em 1972 (Catmull, 1972). Mais recentemente, a tese de doutoramento de Llach no MIT (2012) veio, também, a demonstrar que Coons foi, igualmente, uma figura fundamental para o desenvolvimento do desenho arquitetónico do Século XXI.

3.3. Christopher Alexander

Wolfgang Christian Johann Alexander (Stenson, 2017) nasceu em Viena em 1936, mas a família emigrou para o Reino Unido, escapando ao nacional-socialismo, em 1938. Cresceu no Sul de Inglaterra. Frequentou o *Trinity College* na *University of Cambridge* onde, por motivos familiares frequentou primeiro matemática que concluiu com a realização do difícil exame *Mathematical Tripos*. Frequentando depois arquitetura, curso que o seu pai considerava infeliz e idiota. Alexander concluiu o equivalente à licenciatura em arquitetura em apenas dois anos, fazendo o segundo e o terceiro ano, simultaneamente, sem realizar, no entanto, o equivalente ao mestrado que o habilitaria à prática profissional de arquitetura no Reino Unido (Keller, 2005; Stenson, 2017).

Desde a entrada na universidade que Alexander desenvolveu a sua abordagem sistemática, através de interesse simultâneo em matemática, desenho e computação. Seria tal prévio interesse mútuo nas três disciplinas que lhe poderá ter conferido a possibilidade de, no início da década de sessenta, ser um dos poucos arquitetos com conhecimentos matemáticos para programar e usar um computador (Steenon, 2017).

A ideia do uso de ciência na arquitetura por parte de Alexander, coincidiu com um período em que a faculdade de arquitetura de Cambridge tinha ensino com ênfase na ciência, sendo liderada por Leslie Martin, arquiteto adepto da ligação da ciência à arte e à arquitetura, já referido no primeiro capítulo e responsável por uma abordagem baseada em sistemas que serviria de base para programas de investigação do Reino Unido, nas décadas seguintes (Steenon, 2014, 2017).

Quando acaba a licenciatura em arquitetura, Alexander, considera três opções de carreira, a primeira consistia em estudar estética no *University College* de Londres e terá chegado mesmo a debater o assunto com o filósofo A. J. Ayer, ligado ao círculo de Viena. A segunda opção, ponderada por Alexander, terá sido a de trabalhar em construção modular no laboratório nacional de investigação em arquitetura, a *Building Research Station*. A Terceira opção seria a de frequentar o programa de doutoramento em Harvard, para, também, investigar construção modular (Keller, 2005).

Alexander escolheu Harvard, partindo para os Estados Unidos, em 1958, para ser bolsista de doutoramento, trabalhando em investigação, também, no *Joint Center for Urban Studies* of MIT and Harvard, no *Harvard's Center for Cognitive Research* e no *Civil Engineering Systems Laboratory* do MIT. Com as colaborações com as referidas unidades de investigação, Alexander passou a deter conhecimento noutras áreas de investigação como ciência cognitiva, cibernética e inteligência artificial que contribuíram para a sua investigação ao nível dos *Design Methods* e, sobretudo para a sua tese de doutoramento denominada *The Synthesis of Form: Some Notes on a Theory* que ficaria conhecida para a posteridade pelo nome da sua edição literária, *Notes on the Synthesis of Form* (que pode ser traduzido em português como *Notas sobre a Síntese da Forma*), uma obra essencial para a história do desenho arquitetónico e que atualmente ainda é editada (Alexander, 1971; March, 2000; Rocha, 2004; Keller, 2005; Uptis, 2008; Steenson, 2014, 2017).

No princípio da década de sessenta, em Harvard, o seu passado nas Matemáticas e o seu interesse na computação, transformam Alexander, num pioneiro da utilização dos meios digitais no desenho arquitetónico. Com tal capacidade, irá desenvolver investigação apoiada num computador mainframe IBM 709/7090 do centro de computação do MIT, concebendo os programas HIDECS 2 and 3 (*Hierarchical Decomposition of Systems*), escritos em linguagem FORTRAN e que serviam o propósito de efetuar análises relacionais entre nós vários, para resolução de problemas, possibilitando maneiras de descobrir sistemas e subsistemas. Alexander, ao aplicar matemática na modelação de problemas da arquitetura e do desenho urbano, contribuía para que o desenho arquitetónico se tornasse quantitativo. Ao analisar esta mudança, já na década de setenta, Michael Batty (1976) dirá tratar-se de uma Revolução Quantitativa (*The Quantitative Revolution and the Systems Approach*) (Alexander e Manheim, 1962, 1963; Rocha, 2004; Steenson, 2014, 2017).

O programa HIDECS 2 foi criado para a investigação do planeamento de autoestradas e desenvolvido por Alexander e pelo seu coautor Marvin Manheim no departamento de engenharia civil do MIT. O programa tinha por objetivo calcular *estruturas em árvore*, os subsistemas de sistemas. Desta forma, nos primeiros anos da década de sessenta, Alexander visionava todos os problemas de desenho através de estruturas hierarquizadas, organizadas de cima para baixo, as referidas *árvores*, que possuíam apenas dois pontos de contacto e que era o que os 32KB de memória do computador conseguiam calcular. Quando teve acesso a computadores de maior capacidade, Alexander, criou o HIDECS 3 e começou a considerar estruturas reticulares (*semilattices*) entrecruzadas, bastante mais complexas, com maior número de pontos de contacto e com maior capacidade de definição dos problemas (Alexander e Manheim, 1963; Steenson, 2017).

Seria com a investigação do planeamento de autoestradas e com a sua tese sobre síntese da forma que Alexander começou a estruturar problemas de desenho como *árvores* com apenas dois pontos de contacto entre requisitos. Alexander tinha acesso a meios computacionais através da sua colaboração com o MIT que lhe disponibilizava umas horas do computador IBM 7090 do centro de computação da instituição. Alexander usou o IBM 7090, também para a sua tese, nomeadamente, para efetuar a análise da relação entre requisitos de desenho de projeto para uma aldeia na Índia (Steenson, 2017).

No método da tese de Alexander, podem ser considerados três componentes chave, a forma, as forças e a adequação (*Form, Forces, and Fitness*) (Steenson, 2017). Para caracterizar a forma, Alexander começa por dividir os sistemas em duas partes, a primeira, o contexto que corresponde à parte do sistema que o projetista não tem intervenção, a segunda, a forma que podia ser definida como o diagrama de forças das exigências funcionais que constituem o contexto. Um problema definido pelo contexto em que a forma é a solução. Deste modo, para Alexander, as forças faziam a forma, sendo esta caracterizada pela relação entre forças do problema de desenho de projeto. A adequação (*fitness*) consistia na relação de aceitação mútua entre a forma e o contexto, uma escolha da melhor ferramenta para a tarefa. Ao projetista cabia a responsabilidade de estabelecer o equilíbrio das forças do sistema, ao projetar uma forma adequada (Sequeira, 2007; Veloso, 2012; Steenson, 2017).

Ao contrário de um arquiteto convencional que quando realiza uma criação pelo desenho efetua modelos de formas, Alexander equacionava a forma com a estrutura do problema. Com o auxílio do computador, o projetista para Alexander podia definir uma modelação matemática do comportamento do problema e criar uma hierarquia de diversos subsistemas com forte interação entre as forças. Numa segunda fase, o projetista podia com base nos referidos subsistemas definir os diagramas construtivos, que unificavam e descreviam graficamente, conciliando a forma do subsistema com as suas forças. Alexander, aproximava o desenho arquitetónico da teoria da informação de Claude Shannon (1948) e da cibernética de Norbert Wiener (1961). Na sua busca de sistemas equilibrados, Alexander envolvia-se, assim, com abordagens quantitativas do desenho de projeto, e adotava conjuntos e diagramas como métodos de representação do desenho arquitetónico (Sequeira, 2007; Veloso, 2012; Steenson, 2017).

O método de Alexander tinha, pois, por objetivo, a transformação de um conjunto de dados sobre o contexto numa estrutura organizada, representada por gráficos em *árvore*. O contexto era descrito em

termos funcionais, o que possibilitava a colocação dos pré-requisitos que a forma deveria dar resposta. A totalidade dos dados coligidos relativos ao contexto que permite obter a configuração do sistema de que dependem os subsistemas. O objetivo do programa era, pois, fazer a correta disposição dos dados coligidos de modo a que melhor representem o contexto. Para Alexander, o projetista, ao trabalhar conscientemente entre análise e síntese, ficava capacitado para criar um sistema adaptativo com competência de responder à mudança e de criar a síntese da forma (Moreira, 2007; Steenson, 2017).

No entanto, para Alexander, de acordo com a sua tese, a tarefa de desenhar não se resumia, apenas, a criar, de acordo com um conjunto de pré-requisitos, mas na procura de uma ordem em que todas as variáveis fossem consideradas, não sendo, pois, a forma o elemento principal. O referido trabalho de investigação, desenvolvido por Alexander, representa, pois, um dos primeiros modelos de desenho em que existe uma correspondência estrutural entre o modelo do problema e o processo de desenho, possibilitando ao desenhador relacionar numa lista, pré-requisitos e formas. Alexander desenvolveu, assim, um método para estruturar o problema do desenho desagregando-o em componentes geríveis e criando ordens e processos organizacionais (Alexander, 1964; Rocha, 2004; Steenson, 2014, 2017). Na discussão da tese de Alexander o comité refletia a transdisciplinaridade do conteúdo. Este era formado por Arthur Maas, cientista político, reconhecido pela investigação ao nível de abordagens de modelos quantitativos para planeamento e políticas de recursos hídricos, Jerome Bruner, psicólogo cognitivo que era um dos fundadores do Harvard Center for Cognitive Studies e Serge Chermayeff, já referido no primeiro capítulo, que era arquiteto e designer industrial e, também, o orientador da tese (Rocha, 2004; Steenson, 2014, 2017).

Chermayeff, o orientador, como referido no primeiro capítulo, era próximo de Gropius, tendo sido escolhido, principalmente, por este para ocupar o lugar de diretor do Institute of Design (sucessor da New Bauhaus), deixado vago pela morte de Lazlo Moholy-Nagy. Era mais um dos arquitetos ligados à ideia de utilização de ciência no desenho arquitetónico e que depois de sair do instituto de Chicago tinha sido professor no MIT, seguindo depois para a vizinha Universidade de Harvard. Na GSD de Harvard, a mesma de Gropius e McHarg, Chermayeff, seria o responsável pela criação do curso de Desenho Ambiental (*Environmental Design*). Alexander quando inicia o doutoramento na GSD, começa a trabalhar num projeto de investigação com Chermayeff denominado "*The Urban Family House Project*", projeto de investigação de uma casa unifamiliar urbana, dirigido por Chermayeff e baseado no *Joint Center for Urban Studies* (Rocha, 2004; Garcia Martinez, 2016). O referido projeto concluiu que cada problema de desenho tinha um padrão (*pattern*) estrutural próprio e que um desenho de projeto bem sucedido dependia da capacidade do projetista de compreender a estrutura escondida, assim como da capacidade criativa deste para manipular essa estrutura (Rocha, 2004).

As conclusões do projeto, incluindo as acima referidas, foram publicadas, em 1963, num importante livro de autoria conjunta de Alexander e Chermayeff, *Community and Privacy*. Neste, Alexander tinha utilizado, também, o computador IBM do centro de computação do MIT. Alexander com o apoio de Chermayeff, começara, assim, a exploração de novas possibilidades de desenho possibilitadas pelo computador / máquina (Rocha, 2004). O uso da máquina servia, em *Community and Privacy*, para Alexander e Chermayeff, argumentarem que um projetista que utilizasse a tecnologia teria maiores

possibilidades de ser bem-sucedido que um projetista que evitasse a tecnologia (Chermayeff e Alexander, 1963; Steenson, 2014). A obra de Alexander e Chermayeff foi pioneira ao nível do ensino do desenho ambiental, ao qual ambos dedicariam toda a sua carreira académica desde então (Rocha, 2004).

Após a discussão da sua tese, em 1962, Alexander tornou-se professor da University of California - Berkeley, lecionando como aludido no primeiro capítulo, com outro nome dos *Design Methods*, Horst Rittel no College of Environmental Design, escola de Arquitetura Paisagista e Planeamento Regional e Urbano (Dubberly e Evenson, 2011). Em Berkeley fundaria em 1967, o centro de investigação, *Center for Environmental Structure* (CES) at Berkeley onde permaneceria até 1994 e onde desenvolveria a linguagem de padrões (*pattern languages*) e a gestão da linguagem, através de bases de dados. No centro teria vasta produção científica com publicação mais de duas dezenas de livros e números artigos (Steenson, 2014, 2017). Mais tarde Alexander escreve um artigo fundamental no estudo do desenho urbano, “A City is not a Tree” (Figura 15). Neste artigo, aborda a temática das cidades projetadas, fazendo um contaponto entre estrutura em árvore e estrutura reticular (*semilattices*) de maior complexidade e necessidade de maior processamento computacional (Alexander, 1965; Steenson, 2014).

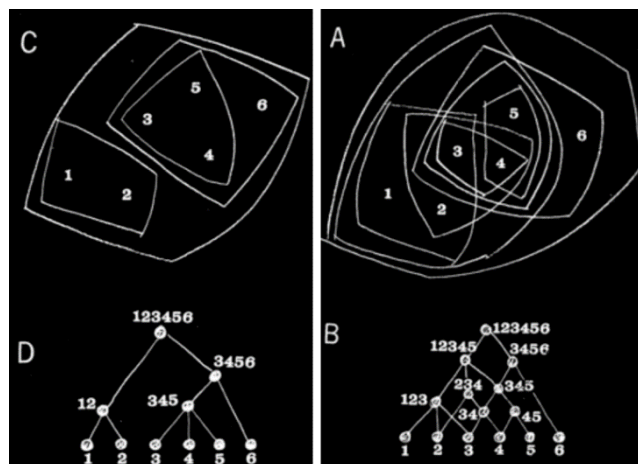


Figura 15 - As árvores e as estruturas reticulares (*semilattices*) de “A City is not a Tree” (Alexander, 1965)

O artigo é marcado pela forma como Alexander visualizava a complexidade no desenho de autoestradas com o HIDECS 2 e na tese, Alexander visualizava todos os problemas de desenho numa estrutura hierarquizada, de cima para baixo, apenas com dois pontos de contacto entre requisitos. Esta hipótese de visualização representava toda a capacidade que os 32KB do programa (1/10 dos KB ocupados pelo texto não formatado da dissertação) podiam calcular. Quando teve acesso a computador de maior capacidade, Alexander conseguiu computar múltiplos pontos de ligação entre pré-requisitos de desenho e passou a utilizar as estruturas reticulares (*semilattices*), em vez de árvores, uma vez que estas suportavam maior complexidade. *A City is not a Tree* foi a forma encontrada por Alexander para denunciar as *árvores* como uma maneira perigosa de estruturar os problemas, propondo a estrutura reticular como a melhor forma para a análise da rede social da cidade (Steenson, 2017).

Enquanto as árvores são fáceis de imaginar, as estruturas reticulares são complexas e exigem análise topológica. Das três primeiras obras de Alexander, sobressaem ideias comuns relativas à modelação e visualização da complexidade urbana (Stenson, 2014).

Modelar a complexidade urbana é, também elemento comum com *A Pattern Language*, a sua obra mais conhecida, publicada mais de dez anos depois da publicação de *Notes on the Synthesis of Form*. *A Pattern Language* esboça a dificuldade de desenho de sistemas reticulares interativos. Alexander e os seus coautores alertam para a dificuldade de modelar necessidades e atividades que aparentemente podem parecer de fácil modelação (Alexander, Ishikawa e Silverstein, 1977; Steenson, 2009).

Como resultado de 10 anos de pesquisa do centro CES, em 1977, é editado *A Pattern Language* que pode ser traduzido em português por linguagem de padrões, sendo, no entanto, nesta dissertação utilizada a denominação original. A pesquisa da obra havia sido financiada pela Kaufmann Foundation e pelo Bureau of Standards, tendo sido estruturada a investigação em três componentes, o primeiro era a própria unidade de investigação, o segundo, a base de dados de *patterns* e o terceiro, uma publicação académica. O CES funcionava como o elemento central que recolhia, pesquisava, acedia e partilhava as *patterns* e as *pattern languages* (Stenson, 2017).

Como ideia inicial das *patterns*, pode-se dizer que na origem das mesmas está o facto de Christopher Alexander ter desenvolvido um sistema operativo para a ordem, em que primeiro utilizava computadores e computação, passando depois a sistema autónomo da componente informática que ele e os seus coautores chamaram *pattern languages*. Alexander, considerava que era necessária a identificação do padrão (*pattern*) apresentado pelos problemas de modo a poder lidar com as partes do problema e, ao mesmo tempo manter a integridade da solução. Uma *pattern* é a descrição de um problema que se repete continuamente no ambiente sendo que também tem identificada a natureza das soluções possíveis para o problema, de modo que possa ter variadas utilizações e de formas diversas (Moreira, 2007; Steenson, 2017).

O livro define, pois, um conjunto de fundamentos para arquitetos e planeadores urbanos que poderia ser usado por designers sem experiência. Os autores escrevem que cada *pattern* descreve um problema que é recorrente no ambiente e propõem uma solução para esse problema de modo a que um projetista ou qualquer pessoa que conheça os padrões fique habilitado a compor uma nova forma (Moreira, 2007; Steenson, 2009, 2017).

As duzentas e cinquenta e três *patterns* de *A Pattern Language*, estão organizadas por ordem de escala, das macros para as micros. As primeiras *patterns*, apresentadas pelo livro, são as mais abrangentes destinadas a políticas, instituições, infraestruturas e definições de lugares, seguindo-se, depois, as *patterns* destinadas às relações espaciais para edifícios e espaços circundantes e, por último, as *patterns* para estruturação e construção de projeto. *A Pattern Language* invoca, representa e descreve uma *pattern* que não é mais que uma representação que pode servir de base para a utilização em projeto. As *patterns* constituem, pois, representações mentais mais ou menos, abstratas da *pattern* no mundo (Alexander, Ishikawa e Silverstein, 1977; Steenson, 2009, 2017).

A linguagem de *patterns* é um formato que organiza as partes, os todos e as relações, num problema de desenho de projeto. A própria linguagem disponibiliza os meios para partilhar *patterns* e as regras para gerar novas *patterns*. Tratava-se de um linguagem desenvolvida para ser intuitiva, de modo a que o utilizador só empregasse as *patterns* que pensasse serem relevantes (Alexander, Ishikawa e Silverstein, 1977; Steenson, 2009, 2017).

Steenson (2017), autora de importante trabalho académico sobre Alexander com experiência profissional de designer digital, considera que *A Pattern Language* foi uma obra de grande impacto em programadores e designers digitais. Ainda de acordo, com Steenson (2017), se um programador falar de *patterns* ou um *web-designer* falar de arquitetura, a sua referência é Alexander e que a paisagem digital contemporânea seria diferente sem *A Pattern Language*. No entanto, apesar de relevante para os profissionais das referidas áreas, Alexander pode ser considerado impopular com a maioria dos demais arquitetos que se mantêm ambivalentes perante a sua obra, considerando os seus métodos moralistas e determinísticos por buscarem uma noção de bondade na arquitetura. Ainda de acordo com referida autora, *A Pattern Language* serviu de inspiração para leigos pensarem intuitivamente quando desenham os seus próprios espaços e descobrem as *patterns* que melhor se adequavam às suas ideias (Steenson, 2017).

Apesar de escrito a pensar nos problemas da arquitetura e do desenho urbano, *A Pattern Language* aborda problemas, especiais que são enfrentados por todos os desenhadores, incluindo, desenhadores de jogos e de outros *media* digitais (Henderson, 2009; Steenson, 2009). No entanto, o que os arquitetos desaprovam na obra de Alexander, é exatamente o que a torna popular entre esses desenhadores digitais e programadores que consideram fundamental o que os arquitetos rejeitam, a simplificação dos problemas de desenho. A abordagem de Alexander é, pois, importante para profissionais, exteriores à arquitetura e ao desenho como engenheiros de *software* e responsáveis pela arquitetura de sistemas, pessoas que trabalham, analisam e visualizam grandes blocos de informação (Steenson, 2017).

Alexander influenciou programadores informáticos, no desenvolvimento de linguagens orientadas por objeto, padrões de *software*, o formato *wiki* que corre em sites como a *Wikipedia*, metodologias como o *Extreme Programming* ou jogos como *Sim City* e *Sims* (Mehaffy, 2007; Henderson, 2009; Steenson, 2009). A abordagem de Alexander pode, pois, ser considerada como de vital importância para desenhadores centrados no ser humano que utilizam as *patterns* para organizarem o respetivo trabalho (Steenson, 2017). Para Steenson (2017), atos como uma busca na *Wikipedia*, aprender a programar em C++, utilizar um programa executado na referida linguagem ou jogar um jogo de computador, tem uma inspiração de Alexander, uma vez que as teorias de Alexander tocam em quase todos os elementos da vida digital.

Da sua influência sobre Silicon Valley, Alexander diria, em 1996, falando para uma plateia de informáticos, que a sua associação com programadores tinha começado dois ou três anos antes quando começara a receber chamadas de informáticos, sendo uma desses telefonemas um convite para um jantar em que um grupo de informáticos de Silicon Valley pagava 3000 dólares americanos, por pessoa, apenas para jantar com ele. Alexander referia, ainda, que tinha demorado algum tempo a

compreender o alcance dos seus estudos para a programação de computadores, porque ao fim ao cabo, ele era um arquiteto e o seu principal interesse era criar estrutura viva no mundo, ou seja, cidades, ruas, edifícios, divisões deste, jardins, lugares que pudessem ser vividos (Alexander, 1999).

Alexander continuou a lecionar, em Berkeley até 1998, quando deixou de ter contrato, passando a *Emeritus Professor*. Após a reforma, voltou para o Sul do Reino Unido, Arundel no West Sussex.

3.4. Nicholas Negroponte

Nicholas Negroponte pode ser considerado como um dos responsáveis do computador ter sido transformado na máquina cultural que é hoje, ao ser uma das pessoas que inventou a informática dos *media* interativos (Manovich, 2013).

No entanto, a relevância do seu papel pioneiro ao nível da interatividade (Licklider e Taylor, 1968), não pode ser dissociado da importância do seu papel ao nível do desenho arquitetónico. Nascido em 1943, começou o percurso académico como um estudante de arquitetura no MIT, a quem o pai tinha prometido ir estudar escultura em Paris se acabasse primeiro o curso. Filho de um armador americano de origem grega, era um viajado jovem de dezoito anos quando entra para o MIT em 1961 (Negroponte, 2010, 2014).

Negroponte fazia dois cursos no MIT, um primeiro curso equivalente à licenciatura, com um trabalho final denominado *Systems Of Urban Growth*, em 1965 e um Mestrado com a dissertação, *The Computer Simulation Of Perception During Motion In The Urban Environment*, no ano seguinte, 1966 (Negroponte, 1965, 1966, 2010).

A sua dissertação de mestrado, era bastante transdisciplinar tinha, até, três orientadores, de três diferentes áreas científicas. Em meados dos anos sessenta já começava a estar refletida a aproximação da arquitetura à arte e à ciência por parte de Negroponte (Negroponte, 2010; Steenson, 2014).

Já na presente década, Negroponte considerou a importância dos seus três orientadores e relevou, em particular, o papel de Steven Coons, que considerou o inventor de muitos dos sistemas CAD, devido à sua relevância ao nível da evolução do desenho arquitetónico digital (Negroponte, 2010; Llach, 2012, 2015a).

O orientador ao nível do planeamento urbanístico era Kevin Lynch, um discípulo de Frank Lloyd Wright, com trabalhos relevantes nível do desenho urbano, em particular, ao nível dos aspetos visuais do desenho urbano com *The Image of the City* (1960). O terceiro orientador era Gyorgy Kepes, e para Negroponte, Kepes era Bauhaus, era Chicago e a New Bauhaus onde havia sido professor dentro do MIT. Kepes era ainda o homem que dedicou grande parte da sua vida académica à ligação entre arte e ciência (Kepes, 1944, 1956; Finch, 2005; Negroponte, 2010; Steenson, 2014).

A ligação da ciência às artes poderá explicar a presença de Kepes como orientador, mas esta poderá, também, estar relacionada pela vontade prévia do jovem Negroponte querer ser escultor em Paris. A grande influência de Kepes, também seria revelada, em entrevista, em 2010, com Negroponte a

considerar que o *MIT Media Lab*, instituição que dirigiu durante década e meia, se assemelhava a uma “Bahaus Digital” (Negroponte, 2010).

Negroponte, à data da sua dissertação de mestrado (Negroponte, 1966) já via a necessidade de investigação científica no desenho e na arquitetura. A sua visão sobre a arquitetura próxima da tecnologia que não estava muito afastada da visão de Gropius. Negroponte considerava que a investigação no campo da arquitetura, tinha um enorme atraso perante a indústria e a NASA pelo que não existia alternativa para a academia que não fosse fazer todo o trabalho investigação (Negroponte, 1966; Negroponte, 2010). Uma visão que, também, era próxima da visão de Horst Rittel e dos *Design Methods* que pretendiam trazer as abordagens da NASA para a ciência do desenho (Negroponte, 2010).

O início da atividade docente de Negroponte estaria relacionado com Coons e com a circunstância deste ter colocado uma licença sem vencimento por um ano, para ir trabalhar em Harvard com Sutherland. Coons teve a necessidade de encontrar um substituto e convidou o seu antigo orientando Negroponte com apenas uma semana de antecedência, para lecionar a cadeira de desenho assistido por computador no departamento de engenharia mecânica (Negroponte, 2010; Steenson, 2014) .

Em 1968, a convite do reitor da escola de arquitetura e planeamento do MIT, finalmente tornar-se-ia, depois, professor assistente do departamento de arquitetura e criaria com Leon Groisser, com quem tinha trabalhado no primeiro grau académico, o Architecture Machine Group (AMG) (Rocha, 2004; Negroponte, 2010; Steenson, 2014). Llach (2012) aponta o arquiteto francês de origem húngara Yona Friedman como uma das influências para o AMG.

O AMG era uma parte do departamento de arquitetura do MIT, dedicada complementarmente ao ensino e à investigação. No ensino, tinham a responsabilidade da cadeira “Architectural Communication and Geometry and Computation”, uma versão da cadeira de CAD de engenharia mecânica de Coons, inicialmente lecionada por Negroponte mas que viria também a ter como docente Timothy Johnson, um outro discípulo de Coons, já referido anteriormente, responsável pela versão tridimensional de *Sketchpad*, *Sketchpad III*, *three dimensional graphical communication with a digital computer* (Johnson, 1963; Rocha, 2004; Negroponte, 2010; Llach, 2012; Steenson, 2014).

Durante os últimos anos da década de sessenta e os primeiros da década de 1970, o AMG envolve-se em vários projetos de investigação como URBAN 2, URBAN 5, SEEK ou HUNCH com fundos públicos, nomeadamente da área da defesa. Na década de setenta, Negroponte publicará dois importantes livros para o desenho digital arquitetónico, descrevendo muita da investigação dos projetos, *The Architecture Machine* em 1970 e *Soft Architecture Machines* em 1975. O último com um capítulo denominado *Computer Graphics* com introdução de Steven Coons (Rocha, 2004; Steenson, 2014)

Os primeiros projetos de investigação em arquitetura do AMG corresponderam a sistemas CAD interativos, o URBAN2 e URBAN5. Estes programas combinavam um simples CAD gráfico com a capacidade manipulação de cubos de três metros, possibilitada pelo diálogo do computador com o utilizador através de pergunta e resposta. Os programas de CAD funcionavam num computador da

família IBM System/360. A escolha de cubos prendia-se com o facto de Negroponte e Groisser considerarem que o cubo tinha poucas imposições arquiteturais e bastantes vantagens ao nível da investigação (Negroponte, 1970; Steenson, 2014, 2017). As vantagens dos cubos que os autores se referiam eram os denominados *mundos de blocos* (*block worlds* no original em língua inglesa) que constituem um dos domínios de planeamento mais famosos ao nível da inteligência artificial e que consistem num conjunto de blocos de madeira que estão sobre uma mesa e são identificados por letras, e que possuem, ainda, algumas características que facilitam a aplicação de braços robóticos na movimentação de objetos (Negroponte, 1970; Winograd, 1971; Gupta e Nau, 1992; Bianchi e Rillo, 1995; Steenson, 2014, 2017).

A primeira versão do programa, o URBAN2, era o projeto da disciplina lecionada, conjuntamente por Groisser e Negroponte, em 1967, denominada "Special Problems in Computer-Aided Urban Design", apoiada pelo centro de investigação da IBM, e encarada como um *workshop* de computadores de arquitetos para arquitetos" (Steenson, 2017). O curso seria um sucesso e no ano seguinte, passaria a integrar permanente o currículo de arquitetura (Negroponte, 1970; Steenson, 2014, 2017).

A versão seguinte do programa o URBAN5 constituiria o primeiro projeto de investigação do AMG (Figura 16). No URBAN5, o utilizador desenhava e seccionava quadrados que representavam blocos num monitor CRT e atribuía um modo a cada bloco usando dois botões (Negroponte, 1970; Steenson, 2014, 2017).

Se o utilizador seleccionasse um bloco e um modo, o sistema pediria uma pergunta pré-programada de um dicionário com aproximadamente quinhentas hipóteses de seleção. O URBAN5 tinha capacidade de fazer perguntas, contextualmente apropriadas, numa linguagem acessível a um arquiteto, ajudando o utilizador aquando da seleção de atributos e modos. Para auxiliar o utilizador, o sistema procurava "conflitos e incompatibilidades" entre os atributos, estando programado para efetuar um som para alertar utilizador de forma a este que pudesse resolver o problema, através de escrita no teclado de uma resposta. Os autores conceberam o URBAN5 para poder, eventualmente, analisar os dados das interações com o utilizador e conseguir dados sobre expressões próprias do utilizador para poderem ser aplicadas mais tarde. O URBAN5 apesar de concebido para explorar a linguagem natural como veículo para a colaboração homem máquina no desenho. No entanto, conseguir que o URBAN5 respondesse de forma inteligente era mias difícil que o previsto pelo AMG, sofrendo, ainda dos mesmos problemas que os outros *mundos de blocos*, a manipulação inadequada de abstrações, as restrições do mundo real e a demasiada abrangência ao nível da resolução dos problemas de desenho apresentados (Llach, 2015a; Steenson, 2017).



Figura 16 - O URBAN5 com teclado e consola (Negroponte, 1970)

O seguinte projeto de investigação do AMG, em 1970, SEEK, consistia numa cidade projetada para aprender com seus habitantes. Construído em cubos (outro domínio *mundo de blocos*), o sistema poderia ser reconfigurado com as veleidades dos seus moradores, esquilos da Mongólia, roedor também conhecido por gerbo. SEEK utilizava um mecanismo com capacidade de detetar o ambiente físico, alterar esse ambiente e lidar com eventos locais inesperados dentro do ambiente (Negroponte, 1970, 1975, Steenson, 2014, 2017).

O trabalho do SEEK era manipular e organizar o *mundo de blocos* para mostrar como uma máquina tratava uma incompatibilidade entre seu modelo do mundo e o mundo real. Executava seis programas: *Gerar, Degenerar, Reparar, Endireitar, Encontrar e Detecção de Erros* e podia ser usado para editar aleatoriamente o ambiente de blocos ou para reconfigurar, alinhar ou corrigir o ambiente de blocos, usando o seu braço mecânico e respetivos acessórios de plástico para empilhar, mover e vibrar os blocos de forma colocar no local pretendido (Negroponte, 1970, 1975, Steenson, 2014, 2017).

Os habitantes de SEEK, os gerbos, eram escolhidos pela sua curiosidade e serviam para introduzir o elemento “caos do mundo real”. SEEK demonstrava o potencial e os problemas de um ambiente responsivo. Por um lado, pretendia mostrar os reflexos de um comportamento responsivo, na medida em que as ações dos gerbos não eram previsíveis e as reações do SEEK serviam para corrigir ou ampliar as mudanças provocadas pelos gerbos. Por outro lado, o modelo teria sempre limitações nos objetivos pretendidos porque mesmo considerando a sua trivialidade e simplicidade, SEEK ultrapassava, metaforicamente, a situação do mundo real, onde as máquinas não tinham (em 1970) a capacidade de responder à natureza previsível das pessoas (Negroponte, 1970, 1975, Steenson, 2014, 2017).

As tecnologias por trás do *software* de SEEK pertenciam a outras iniciativas do domínio *mundo de blocos* e a colaborações com o laboratório de inteligência artificial do MIT, particularmente na visão computacional e capacidade de analisar fontes conflituantes de informações (Figura 17). Marvin Minsky do laboratório de inteligência artificial do MIT, trabalhava, na época, na investigação para a construir um sistema prático de análise de cenário do mundo real (Negroponte, 1975; Llach, 2015a; Steenson, 2017).

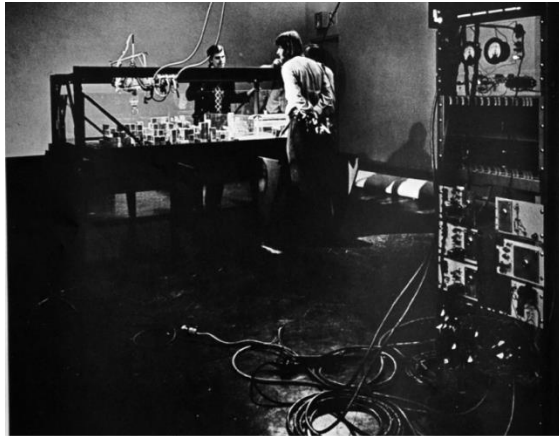


Figura 17 - Negroponte e o mundo de blocos de SEEK (Negroponte, 1970)

Em SEEK, o tema era a procura de um ambiente mais adaptável através de uma prática de um design tecnologicamente mais aprimorado e orientado pelo utilizador (Figura 18). Um computador com monitor e um braço robótico reconfigurando um habitat artificial e uma exploração do desenho da máquina humana ou, no caso da investigação, da máquina de roedores (Llach, 2015a).



Figura 18 - Habitante de SEEK (Llach, 2015a)

Outro importante projeto do AMG foi HUNCH, em 1971, um sistema de desenho digital que tentava fazer o reconhecimento dos esboços do utilizador, transformando desenhos à mão levantada em dados e usando a inteligência da máquina para representar o esboço no monitor ainda na sua versão provisória. HUNCH seguia o conceito de que muito do pensamento de desenho arquitetónico acontecia sob a forma de esboços em guardanapos e pedaços de papel (Negroponte, 1975; Steenson, 2014, 2017).

Embora tenha sido desenvolvido para esboços de desenho arquitetónico, Negroponte e o AMG pensaram que o sistema HUNCH poderia ter uma utilização mais variada, nomeadamente como parte principal de sistemas informáticos que exigissem *input* gráfico de ideias ainda em desenvolvimento ou em que o utilizador tivesse dificuldades com o modo de *input* (Negroponte, 1975; Steenson, 2014, 2017).

HUNCH resultava da colaboração com Gordon Pask, investigador da área da cibernética. Pask que, de acordo com o referido no primeiro capítulo, tinha participado no primeiro congresso de *Design Methods* e não era de todo um estranho para artistas plásticos e arquitetos, uma vez que desenvolvia investigação na área das interseções cibernéticas com arte e arquitetura. Pask, Negro Ponte e demais AMG aplicaram, mesmo, a teoria da conversação de Pask à computação gráfica, numa extensão do HUNCH englobada num projeto denominado teoria da conversação gráfica que, no entanto, não teria financiamento da agência americana de investigação científica, a *National Science Foundation* (NSF) (Steenon, 2014).

Ainda na década de setenta, Negro Ponte e o AMG, desenvolvem projetos de investigação (Negro Ponte, 2010, 2014; Steenson, 2014) mais relacionados com a interatividade do que com a arquitetura, para a secretária da defesa americana e que se podem ser considerados como aparentando estar três décadas à frente do seu tempo. Este será o caso do mais conhecido de todos os referidos projetos, *Aspen Movie Map* (Bender, 1980; Mohl, 1981) (Negro Ponte, 1995), um “antepassado” das aplicações “street view” que tem utilização generalizada na atualidade, o *media room* interativo *Spatial Data Management System* (SDMS) (Donelson, 1977, 1978; Negro Ponte, 1996), *Put That There* (Bolt, 1980), ou *Mapping by Yourself* (Weinzapfel, 1978) ou aquele que poderá ter um maior impacto no quotidiano da atualidade, pioneiro ao nível do uso de *touchscreens* e “antepassado” dos tablets e smartphones *One-Point Touch Input of Vector Information for Computer Display* (Herot e Weinzapfel, 1978).

Em 1985, é fundado o MIT Media Laboratory mais conhecido por MIT Media Lab que absorve o AMG. O Media Lab, fundado conjuntamente com o então reitor do MIT cessante, Jerome Wiesner, tinha onze áreas de investigação, três das quais vindas do AMG, discurso, imagem espacial e interação homem – máquina, todas elas com financiamento assegurado pela secretária da defesa. Grande parte das outras áreas de investigação, tinham financiamento através de mais de quarenta grandes fabricantes mundiais, sobretudo americanos e japoneses (Negro Ponte, 2010, 2014; Steenson, 2014).

Para Steenson (2014), a influência de Negro Ponte é de uma grandeza que ultrapassa o desenho arquitetónico e se estende pelas arquiteturas de sistemas. A referida autora considera que Negro Ponte e o AMG modelaram o desenho como um processo de busca de informações para problemas abstratos e de inteligência. Steenson (2014) considera, mesmo, que Negro Ponte e o AMG ao lidarem com a cibernética, autorreflexividade e abordagens de inteligência artificial contribuíram para a noção de arquitetura de informação. Em relação a este último aspeto, Negro Ponte (1970) argumentou, que o trabalho com áudio, visual e outras qualidades sensoriais era um empreendimento arquitetónico devido ao alcance da arquitetura e às possibilidades de criação de espaços perceptivos.

3.5. Charles Eastman

Charles Eastman (identificado muitas vezes pelo diminutivo Chuck Eastman) é um académico americano de arquitetura conhecido por uma carreira de investigação de quase cinquenta anos, dedicada ao CAD mas, também, aos métodos de desenho, tendo inclusive participado na primeira conferência americana de *Design Methods*, decorrida em 1969 em Cambridge no Massachusetts

(Moore, 1970; Cross, 1993; Llach, 2015a).

Eastman defende desde final dos anos sessenta, através de diversa publicação científica, uma visão em que peças desenhadas associadas com dados disponibilizam uma nova abordagem à representação pelo desenho, atribuindo novas dimensões aos elementos desenhados. O trabalho de investigação de Eastman, ao longo de seis décadas, tem explorado as potencialidades das bases de dados relacionais e linguagens de programação orientadas por objetos para a elaboração de representações estruturadas de edifícios e outros elementos construídos. Estas representações constituem os chamados *Building Models* que evoluiriam até ao que hoje é conhecido como BIM, acrónimo de *Building Information Modeling*. Eastman poderá, mesmo, ser considerado como o principal responsável pela criação de grupos de investigadores e estudantes dedicados à temática das descrições computacionais e à respetiva aplicação ao desenho (Llach, 2015a).

Mais do que a circunstância de ser na atualidade um dos maiores defensores e divulgadores do BIM, Eastman têm sido ao longo de décadas o principal responsável por um trabalho de investigação claramente precursor do BIM. A ideia de Eastman ser o principal impulsionador do início da investigação em descrições computacionais foi confirmada, pelo próprio, numa entrevista a Llach (2015a). Na referida entrevista, este atestou, ter tido a perceção que existia uma oportunidade de os computadores terem a capacidade de representar os artefactos tal como eram, em alternativa às meras representações dos mesmos como efetuado no desenho em papel. Desta forma, para Eastman, as descrições computadorizadas serviam, pois, para aumentar a eficiência, reduzindo os percalços em obra (Llach, 2012, 2015a).

Se, como anteriormente apresentado, os computadores eram para Coons, os escravos perfeitos e se para o seu orientando Negroponte, os computadores eram um veículo do processo participativo e da democracia, para Eastman, os computadores no desenho arquitetónico, eram concebidos como motores de eficiência que diminuía as diferenças entre desenho de projeto e a construção (Llach, 2015a).

Para Eastman, os computadores no desenho servem um impulso racional de eficiência, reconfigurando o desenho e a construção através de estruturas de dados específicas da construção, capturando o impulso do BIM para organizar o território disciplinar, tecnológico e cultural da prática arquitetónica (Llach, 2015a).

No que diz respeito, aos antecedentes académicos de Eastman. Este tinha chegado à Carnegie Mellon University - CMU, nos últimos anos da década de sessenta, depois de ter estudado em Berkeley com Christopher Alexander. A totalidade da sua formação graduada e pós-graduada tinha sido efetuada na universidade da zona da Baía de São Francisco, durante a segunda metade dos anos sessenta (Akin, 2001).

Eastman concluiu o mestrado em arquitetura, em 1966, em Berkeley, indo para a University of Wisconsin por um breve período que serviu de início para o seu estudo de análise de protocolo que seria concluído na CMU e que seria a base de três importantes artigos publicados entre 1968 e 1970 (Eastman, 1968, 1970a; Rocha, 2004).

Se Eastman, nos primeiros graus do ensino superior, teve Alexander como professor, ao nível do trabalho como investigador na CMU, teria como principal mentor, outro nome importante ao nível da ciência no desenho, Herbert Simon (Rocha, 2004).

Herbert Simon, pode ser considerado como uma figura influente para Eastman, um Prémio Nobel da Economia (Simon, 1979) que, também, pode ser considerado uma figura de enorme importância para o desenho, ao ponto de ter dedicado um importante capítulo do seu livro *The Sciences Of The Artificial* ao desenho, "The Science of Design" (Simon, 1969). Para Llach (2012), Simon, com a referida publicação, no início da era da informação, avançou uma visão do desenho como uma "ciência do artificial" que poderia ser plenamente expressa por declarações de lógica declarativa e, assim, formalizada como uma prática científica e mensurável. Sintetizando de forma futurista a epistemologia contemporânea do desenho e da arquitetura como disciplinas técnico-científicas, computacionais e baseadas em desempenho (Llach, 2012).

Simon que lecionou cinco décadas na CMU, colaboraria com a Research and National Development (RAND)³. nas décadas de cinquenta e sessenta. Na RAND, em 1952, começaria uma parceria profissional com Allan Newell que continuaria na CMU. A investigação de ambos, na CMU, seria influenciada pelo contexto das investigações no novo campo da cibernética desenvolvido por Wiener (1961) e pelo trabalho de Shannon (1948), evoluindo para descobrir os mecanismos do pensamento humano que podiam passar a código de computador e ser executados. A Teoria do Processamento da Informação (Newell e Simon, 1972) combinava psicologia com princípios usados na computação e contribuíra para obras pioneiras como a investigação de Eastman, no campo dos *Design Methods*, "Explorations of the cognitive processes in design" (Eastman, 1968; Rocha, 2004).

Em 1974, Simon criaria o Design Research Center (depois Engineering Design Research Center) na CMU com princípios melhorar o ensino do desenho. O DRC foi formado numa nova faculdade de arquitetura com o intuito de juntar especialistas das diferentes áreas do desenho e era uma unidade de investigação de desenho pioneira na computação que tinha como objetivo principal, a construção de uma teoria científica do desenho muito baseada na Teoria do Processamento da Informação e nas técnicas de inteligência artificial (Covey, 1988; Rocha, 2004).

O extenso relatório técnico "Explorations of the cognitive processes in design" demonstrava a ascendência dos professores do seu autor e não só das ideias de Simon e de Newell, mas, também a influência do pensamento de Alexander. Rocha (2004) atenta, que esta poderá ser mesmo considerada como uma obra inovadora ao nível do quadro teórico na busca da melhor compreensão do processamento de informação no desenho. A investigação era, tal como o projeto MAC do MIT, financiada pela agência governamental de defesa ARPA (Eastman, 1968, 1969; Akin, 2001; Rocha, 2004).

³ Organização sem fins lucrativos fundada nos primórdios da Guerra fria em 1948, por elementos do fabricante de aviões Douglas Aircraft Company e financiada com financiamento da força aérea Americana (Hounshell, 1997).

A investigação de “Explorations of the cognitive processes in design”, produziria mais dois artigos “Cognitive Processes And Ill-Defined Problems: A Case Study From Design” e “On the analysis of intuitive design processes”. Constituía, pois, aquilo que se pode considerar o primeiro estudo que utilizou análise de protocolo no desenho, uma análise de um protocolo de resolução de problemas no desenho arquitetónico (Eastman, 1969; Akin e Akin, 1998; Akin, 2001; Lawson, 2006). A investigação demonstrava a existência de uma relação próxima entre investigação em desenho e desenvolvimentos no campo da inteligência artificial, ao nível das ciências cognitivas. Eastman enquanto teórico do desenho tinha, também, a vantagem de ser utilizador dos sistemas CAD. No referido estudo, Eastman abordava o carácter intuitivo do desenho de uma casa de banho, visando utilizar o processamento de informação para resolver os problemas de conceção (Eastman, 1969; Bayazit, 2004).

A análise de protocolo no desenho era um método empírico, trazido da psicologia cognitiva, que envolvia dar pequenas tarefas realistas a projetistas e observar o comportamento destes através do registo das conversas e dos desenhos. A psicologia cognitiva tinha surgido nos anos sessenta e fornecia, ao mesmo tempo, um paradigma conceptual para descrever desenho e, também, um método para estudar o que era maioritariamente uma atividade mental invisível (Eastman, 2001).

As tarefas consistiam em solicitar a vários projetistas experimentados que desenhassem uma casa de banho sob condições experimentais. Tais condições consistiam em fornecer uma casa de banho existente e uma lista de possíveis críticas efetuadas por clientes do projeto de alterações. Os projetistas podiam conversar e era possibilitada a troca de informações durante o ato de desenho, mas essa troca de informação implicava o respetivo registo, incluindo a inclusão de conversas em relatórios para posterior análise. Partindo dos relatórios, Eastman demonstrou que os projetistas estudavam o problema por uma série de tentativas de criação de soluções. Os relatórios demonstravam que não existia nenhuma divisão significativa entre análise e síntese, mas uma aprendizagem simultânea sobre a natureza do problema e da variedade de soluções (Eastman, 1969; Akin e Akin, 1998; Akin, 2001; Lawson, 2006).

As conclusões de Eastman para o estudo, revelaram observações sobre representações pelo desenho e a identificação e decomposição de problemas, nomeadamente sobre a importância das linguagens de representação para a capacidade de resolução de problemas (Eastman, 1969; Akin e Akin, 1998; Akin, 2001; Lawson, 2006).

A área de investigação seguida por Eastman, posteriormente à análise de protocolo no desenho, foi consubstanciada numa série de cinco artigos de investigação do *Space Planning*, e em particular, da respetiva automação, iniciada com “Representations for space planning”, em 1970 (Eastman, 1970b, 1971a, 1971b, 1972, 1973). O *Space Planning* constitui uma temática de investigação em desenho que estuda a distribuição num espaço de elementos topológicos e/ou geométricos, em que a principal preocupação se centra no arranjo espacial, considerando a distância ou a adjacência (Eastman, 1971a, 1971b, 1973; Calixto e Celani, 2015).

Os problemas do *Space Planning* são comuns a arquitetos, arquitetos paisagistas, planeadores urbanos, engenheiros e outros profissionais que procurem resolver problemas através de plantas

ortogonais. Este problemas incluem, por exemplo, o arranjo de um piso de um edifício, a distribuição espacial de um circuito elétrico, o planeamento da localização de um bairro residencial ou outras tarefas de desenho bidimensional (Eastman, 1972; Calixto e Celani, 2015). Estes problemas do *Space Planning* podem ser divididos em dois grandes grupos, os problemas de topologia e as restrições geométricas. Os primeiros definem uma hierarquia de relações espaciais, como adjacências, não adjacências, proximidades e profundidade entre os elementos espaciais. As restrições geométricas são definidas através de superfícies, dimensões, orientação espacial, entre outros métodos (Eastman, 1972; Homayouni, 2007; Fernando, 2014; Calixto e Celani, 2015).

Os artigos constituem um contributo para a investigação da automação da solução de problemas de arquitetura, incluindo, também, o artigo “GSP: A System For Computer Assisted Space Planning”, em que GSP era o acrónimo de *General Space Planner*, um sistema assistido por computador que visava, também, o aumento das tarefas desempenhadas pelo computador, nomeadamente tarefas rotineiras dos *ateliers*, ao nível do desenho (Eastman, 1971a).

Entre os artigos dedicados ao Space Planning e as publicações dedicadas aos antecedentes do BIM, Eastman publicou, em 1974, um dos primeiros artigos dedicados ao ponto de situação do CAD e do desenho arquitetónico assistido por computador (CAAD) nos Estados Unidos, três anos antes do livro *Computer-Aided Architectural Design (CAAD)* de William Mitchell. O artigo denominado “Through the looking glass: why no wonderland. Computer applications to architecture in the USA”, permitia a Eastman apresentar, em meados da década de setenta, um importante levantamento das atividades de CAD nos E.U.A., considerando as questões de disponibilidade de *software* e *hardware*, bem como a evolução ao nível do CAAD (Eastman, 1974).

Entre 1974 e 1976, Eastman efetuaria produção científica, de carácter altamente inovador, relativa ao modelos de informação de edificado (Eastman *et al.*, 1974; Eastman, 1975, 1976; Eastman, Lividini e Stoker, 1975), tida, por vários autores (Llach, 2012; Aish e Bredella, 2017; Bhoosan, 2017) como o início do BIM, através do seus percursores, os sistemas de descrição de edificado. A referida temática começaria, pois, a ser desenvolvida num relatório da CMU, de 1974, denominado “An Outline of the Building Description System”. O relatório enuncia os problemas causados em obra pelas peças desenhadas bidimensionais de projeto enquanto meios de comunicação. Tais problemas, relacionavam-se com a redundância dos desenhos bidimensionais, a necessidade de enormes esforços manuais para atualização de desenhos, o aumento do risco de perda de informação no desenho, a necessidade de enormes esforços de meios para atualização de desenhos. De acordo com o indicado no título do relatório, Eastman e os seus coautores fariam um esboço de solução para os referidos problemas, através do recurso à criação de um software para armazenar, manipular e analisar informação detalhada das etapas de projeto, construção e operação. O sistema seria batizado como *Building Description System (BDS)*, sendo considerado como a primeira forma do BIM (Llach, 2012) (Figura 19). O sistema de descrição tinha, pois, como principal objetivo substituir as peças desenhadas como forma de descrição primária do desenho e construção do edifício (Eastman *et al.*, 1974).

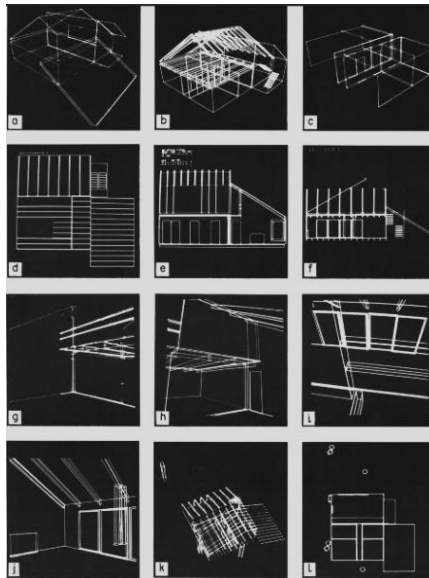


Figura 19 - Imagem de “General purpose building description systems” (Eastman, 1976)

O relatório, teria seguimento, em Março de 1975, com aquela que hoje é considerada a primeira publicação científica de BIM (Aish e Bredella, 2017; Bhoosan, 2017), no AIA⁴ journal, “The Use of Computers Instead of Drawings In Building Design” (Eastman, 1975), publicado dois meses antes da conferência National Computer Conference da ACM, onde foi apresentado A “Database for Designing Large Physical Systems” (Eastman, Lividini e Stoker, 1975). Os artigos seguiam no sentido das então recentes linguagens de programação orientadas por objeto, o BDS posicionava o desenho como uma representação simbólica de conjuntos discretos de objetos manipuláveis com atributos de dados (Llach, 2012).

Para Eastman, o BDS constituía um sistema de descrição geral que permitia a definição ou alteração de qualquer elemento ou rotinas de desenho. O sistema tinha, também, a capacidade de detetar potenciais conflitos, através da determinação de sobreposições, algo que atualmente é um elemento comum em muitos *softwares* (Eastman, Lividini e Stoker, 1975; Llach, 2012, 2015a).

As descrições do BDS de Eastman compreendiam três componentes básicos, a topologia, a geometria e os atributos. Abrangiam, ainda, uma denominada livreria de componentes do Sistema que servia para guardar os componentes pré-definidos do Sistema, bem como os definidos pelo utilizador. As descrições geométricas eram referenciadas a componentes da livreria, o que permitia não guardar várias descrições geométricas independentes, poupando, assim, espaço em disco. O espaço ocupado pelo BDS era reduzido, apenas 120KB, menos de metade do espaço do texto não formatado da presente dissertação. O BDS era escrito na numa linguagem denominada BLISS, desenvolvida na CMU (Eastman, Lividini e Stoker, 1975; Llach, 2012, 2015a).

O objetivo de Eastman para o BDS era o de ter capacidade para codificar a geometria de um edifício, legislação e informações de materiais de construção, numa base de dados de projeto. Esta base de

⁴ American Institute of Architects

dados poderia até dar a possibilidade de reduzir a necessidade de trabalho qualificado, tanto no projeto como em obra e até de facilitar possíveis tarefas de CAM. Uma das vantagens previstas por Eastman para a utilização das bases de dados era a redução dos erros em obra provocados pelo mau conhecimento de inglês de mão de obra estrangeira nas obras americanas (Llach, 2012).

Relacionado com o BDS, Eastman publica, ainda, em 1977, "GLIDE: a language for design information systems". GLIDE (acrônimo de Graphical Language for Interactive Design) era uma linguagem gráfica para desenho interativo e uma tentativa de organizar os recursos e operações de base de dados normalmente utilizados em projeto. Destinava-se, pois, a fornecer representação computacional de sistemas físicos com detalhes suficientes para sua concepção e construção. No artigo, Eastman especulava sobre a forma como os projetistas que utilizassem o sistema poderiam mudar e adaptar-se à tecnologia. Num artigo com mais de quarenta anos, Eastman já referia o facto de desenhadores de projeto poderem vir a tornar-se programadores para projetar (Eastman e Henrion, 1977; Llach, 2012).

Como pioneiro do CAD e teórico do desenho, Charles Eastman, pertenceu, em 1981, ao grupo de fundadores da Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), uma rede internacional de investigadores e profissionais do desenho digital criada para facilitar a investigação sobre o papel da computação na arquitetura, no planeamento e na ciência de construção. Eastman seria, também, o primeiro presidente da instituição (Nagakura e Tibbits, 2017).

Na visão tecnológica de Eastman, o desenho é (re) conceptualizado no formato digital como uma definição e manipulação de representações de elementos arquitetónicos e seus atributos. Na linha do pensamento de Simon, Eastman visa uma arquitetura com uma gestão de eficiência e produtividade. O desenho arquitetónico de Eastman efetua o cruzamento da arquitetura com critérios de eficiência, de automação, de custo de trabalho ou de localização geográfica. Através da tecnologia procura novas formas de legitimidade profissional, visando uma transdisciplinaridade em que o arquiteto converge para ser, também, engenheiro e gestor científico (Llach, 2012).

Como objetivo principal, o BIM visa que o uso de computadores deixe de ser o do simples desenho e evolua para representação do edifício baseada em dados (Llach, 2012).

A investigação iniciada por Eastman com o BDS nos anos setenta e continuada ao longo de décadas, levaria à publicação de dois importantes livros para o desenho arquitetónico digital *Building Product Models: Computer Environments, Supporting Design and Construction*, em 1999, e *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*, publicado em 2008 (Eastman *et al.*, 2008).

Com o livro *BIM Handbook* (entretanto já com segunda edição de 2011), Eastman e demais autores descrevem de forma bastante abrangente as ferramentas disponíveis no BIM, bem como a sua interoperabilidade e o alcance da standardização de dados numa área em constante mutação. Apontando ainda limitações do BIM, ao nível de problemas standardização, da interoperabilidade dos protocolos e dificuldades da indústria em aceitar dados standardizados (Akin, 2010). Com seis décadas de desenho arquitetónico digital, muitas delas dedicadas à descrição de edificado, Eastman

publicava, pois, uma importante obra de BIM da sua coautoria na área que ele próprio tinha sido pioneiro em 1974.

Parte III - Apropriação e afirmação do digital no desenho arquitetónico

“Quebrando radicalmente as tradições seculares e normativas do desenho arquitetónico, as formas geradas digitalmente não são concebidas ou elaboradas de forma convencional. No lugar de adotar um partido, o projetista utiliza um sistema generativo para produzir a forma cujo comportamento durante o processo de intervenção das operações digitais pode ser controlado e selecionado através da emergência das operações do sistema. A ênfase desloca-se do ‘fazer uma forma’ para o ‘encontrar uma forma’ baseada em várias técnicas geradoras”.

(Oxman e Oxman, 2014, p. 238)

“ ... toda tecnologia pode ser usada de modos diferentes. Depende de nós definir como usá-la. Mas eu acho que as novas tecnologias ajudam a colocar o poder na mão dos cidadãos e, assim, a construir uma sociedade mais aberta, livre e transparente.”

(Ratti in Nogueira, 2014, p.3)

A terceira parte da dissertação foca-se na apropriação e afirmação do digital no desenho arquitetónico na contemporaneidade. Através de um caso de estudo exemplifica-se a visualização de dados e a alteração na forma como podem ser compreendidos os fenómenos evolutivos em meio urbano.

O caso prático consiste em utilizar os meios digitais disponíveis passíveis de alterar a compreensão do meio urbano para quem projeta e decide. Estes meios incluem, não só o CAD, mas, também, bases de dados espaciais e temporais. O uso destes, remete-nos para o legado de todos académicos estudados na primeira e na segunda parte deste trabalho. O caso prático permite, também, demonstrar que a utilização de novas ferramentas configura novas formas de representação visual que podem melhorar a perceção do projetista em relação ao planeamento e desenho paisagista.

4. Complexidade e a representação da cidade

O desenho arquitetónico digital possibilitou novas formas de representação visual do espaço de um modo que não era possibilitado pela representação analógica em peças desenhadas. Por conseguinte, as novas formas de representação podem auxiliar a compreender e retratar os fenómenos que se passam em determinadas áreas, de uma forma similar à que foi caracterizada na primeira parte da dissertação para o método ecológico de Ian McHarg recorrendo à sobreposição elementos gráficos georreferenciados. Em áreas localizadas em meio urbano, um dos fenómenos que se reveste de maior importância numa caracterização de arquitectura paisagista é o fenómeno da alteração do espaço público.

A alteração do espaço público pode ser representada de modo diferente do utilizado até há poucas décadas atrás, devido à utilização de tecnologias de informação, compreendendo não só a informação digital vetorial, disponível nos sistemas CAD, mas, também, a informação disponibilizada pelas bases de dados envolvendo grandes quantidades de dados, que para além de poderem ser associados pela coordenada geográfica, também pode ser associado á variável tempo.

Como foi referido na primeira parte da dissertação, a necessidade de caracterizar fenómenos urbanos, não é um assunto recente, estando diretamente relacionada com a noção de complexidade da cidade, em grande parte introduzida em meados na década de sessenta do século XX. De facto, o artigo, de Christopher Alexander, "A City is not a Tree" (1965), introduzia uma ideia inovadora de complexidade da cidade em que a árvore (tree) do título não era material vegetal de um qualquer projeto em meio urbano, mas a representação das cidades projetadas em planta enquanto as cidades não projetadas só podiam ser descritas através de uma mais complexa estrutura reticular (*semilattice*) (Stenson, 2014).

No presente caso prático, não estão em questão os importantes contributos de Alexander para a evolução do desenho arquitetónico, mas está sim, uma ideia principal retirada do artigo de Alexander, a complexidade da cidade e a subsequente problemática de representação da mesma. Não podendo tal problemática de representação da cidade ser dissociada de possíveis implicações para fases do desenho arquitetónico, nomeadamente as fases de planeamento ou de projeto (Brandão, Paio e Correia, 2017).

Se a noção complexidade de representação visual da cidade, tem cerca de cinquenta anos, a representação em cartografia da variável tempo, tem mais de dois séculos e remonta à França de Napoleão, e a Charles Joseph Minard que em 1812 conseguiu mapear os fluxos de tropas e as quantidades de meios necessários para a invasão napoleónica da Rússia (Robinson, 1967; Friendly e Joseph, 2002). Minard, com um modelo de cartografia temática centrado em dados, começaria a modelar uma nova forma de representação geoespacial temporal (Robinson, 1967; Friendly e Joseph, 2002). Nas últimas três décadas, sobretudo com a evolução das tecnologias de informação, e consequente aumento exponencial da disponibilidade de informação georreferenciada, começaram a ser concebidas novas formas de representação de vários tipos de dados em meio urbano. Esta representação de uma multitude de dados georreferenciados, em meio urbano, é denominada por alguns autores como "urban big data" (Claudel, Nagel e Ratti, 2015) ou "Big Data In and For Cities" (Batty, 2015).

No presente caso prático é procurada uma nova forma de representação de um fenómeno urbano, uma dinâmica interna da cidade, a dinâmica de alteração do espaço público. Trata-se de estudar a dinâmica de alteração do espaço público, como uma das formas de regeneração da cidade, através de uma análise que envolve um período de cinco anos.

O estudo recorreu à análise e à representação visual das alterações do espaço público cartografadas pela Câmara Municipal de Lisboa, primeiro, através de animação digital de visualização espaço-temporal com utilização de bases de dados geoespaciais temporais e de sistemas de informação geográfica para o estudo de dinâmicas de renovação do espaço público urbano.

Os dados utilizados foram solicitados à Câmara Municipal de Lisboa (CML) e são pertença da referida entidade. Trata-se de informação vetorial georreferenciada em formato *shapefile* com informação alfanumérica de datas de alterações do espaço público.

A base de informação geográfica que suporta a cartografia da CML assenta num campo denominado *COD_SIG*, correspondendo os registos do referido campo a um código unívoco por elemento gráfico, no caso específico, um ponto. No caso da informação das alterações de espaço público, cada registo

da base de dados corresponde a uma alteração que foi cartografada e que tem associado o referido código único por alteração.

Após análise da completude dos dados georreferenciados, verificou-se que apenas podiam ser considerados os dados relativos a processos entre 2013 e 2017, abrangendo um período de 5 anos.

Ao nível da análise dos dados das alterações, não é revelada a existência de entradas duplicadas, mesmo em caso de intervenções geograficamente próximas. A *shapefile* de pontos consiste em informação obtida com base numa *shapefile* de polígonos correspondendo cada ponto ao centro geométrico do polígono, denominado de centróide, possível de calcular em diversos *softwares* SIG (Bourke, 1988).

Convém referir que mesmo no caso de alterações de pequena dimensão estavam cartografados polígonos de reduzidas dimensões que originaram diferentes centróides muito próximos. No entanto, mesmo considerando a referida simultaneidade de alterações, geograficamente próximas, concluiu-se que as mesmas eram descuráveis para a finalidade de representação visual pretendida.

A metodologia utilizada foi baseada na utilização do *software* SIG *open source*, *QGIS 2.18* e do respetivo *plugin TimeManager*. O recurso ao referido *plugin* permitiu a criação de animações para a visualização da variável tempo. Este tipo de visualização espaciotemporal possibilita a animação do ponto da alteração do espaço público com base nos registos contidos nas colunas relativas às datas de registo da alteração. A representação visual necessitou ainda, de algumas operações prévias, relativas a formatos dos dados temporais, de forma a retirar o maior partido na fase de visualização. O facto de os registos das datas serem guardadas de forma estruturada e formatada, permitiu a utilização no *plugin*, apenas com algumas operações de formatação. Apesar da aptidão dos registos relativos a datas, convém salientar que a qualidade obtida na animação digital depende fortemente do método de verificação do intervalo de tempo utilizado para visualizar as alterações de espaço público.

O processo computadorizado de criação da animação digital consiste na geração de uma imagem para cada intervalo de tempo, previamente definido, sendo o vídeo criado pela sucessão de uma série de imagens. No caso de estudo, foram utilizados intervalos de tempo de 6 meses que melhor se ajustavam à quantidade de dados existente, mas também ao tempo total dos dados, 5 anos (Figura 20).

O *plugin* utilizado permite, também, a exportação de uma série de fotografias, em formato de imagem para posterior edição da animação digital ou, em alternativa, a conversão imediata num formato de vídeo como o formato *MPEG4* através de exportação direta para o *software* livre de manipulação de dados multimédia *FFmpeg*.

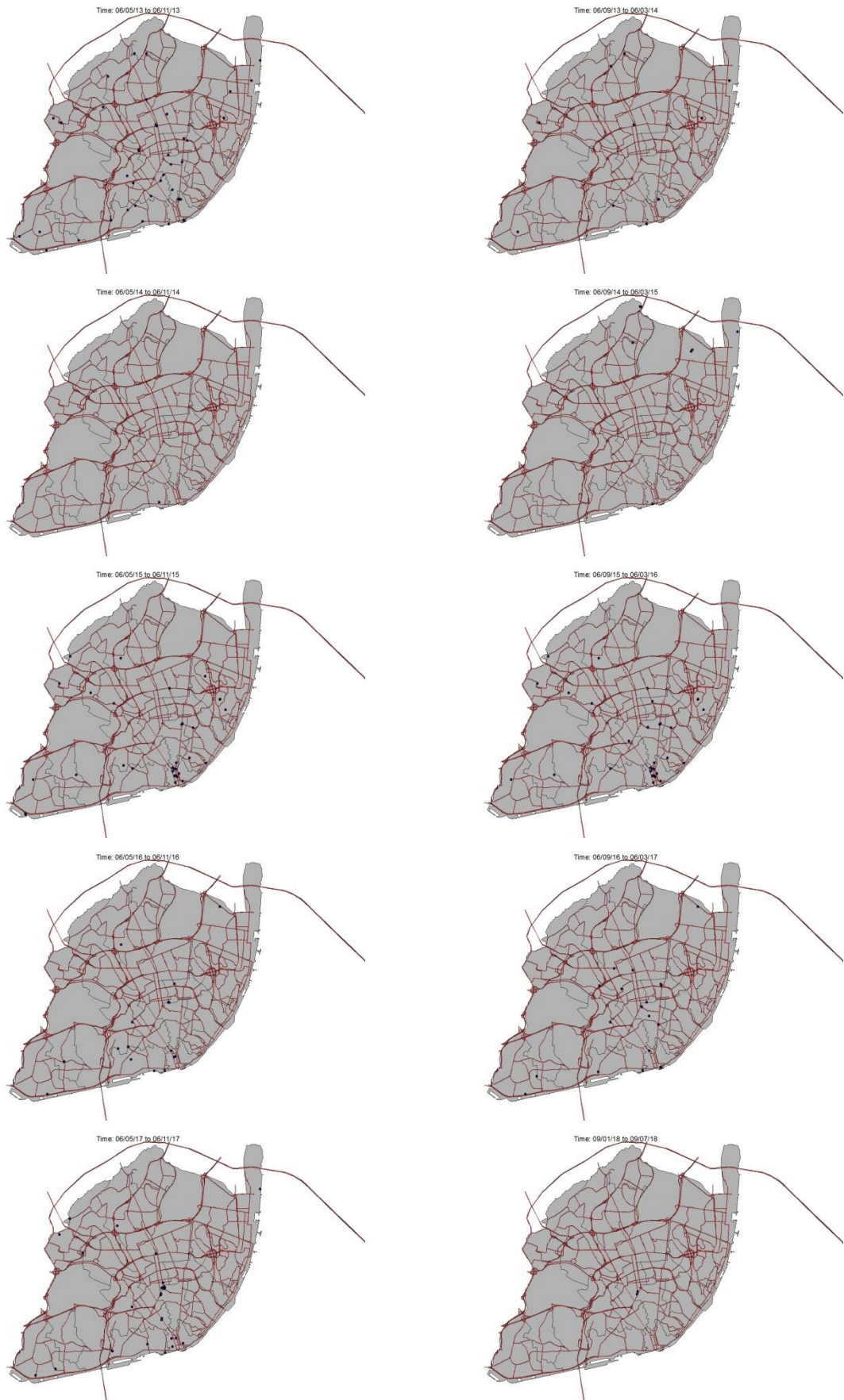


Figura 20 - Fotogramas da animação digital, representando, cada um, seis meses de alterações no espaço público

Como resultado da análise da animação digital de visualização espaço-temporal, pode ser referido que foi pretendida a exploração de uma forma alternativa de representação do tempo num suporte bidimensional. Tal forma de representação recorreu um *software* SIG, para gerar um vídeo digital de uma representação bidimensional mutável, onde um intervalo de tempo de meses foi comprimido e representado, também, considerando um intervalo de tempo, bastante mais curto, com apenas 1/25 de segundo, a duração de uma imagem de animação digital.

As representações produzidas permitem traduzir a dinâmica temporal e espacial de renovação dos tecidos urbanos sobrepostos ao próprio território, ultrapassando, limitações dos meios mais convencionais de representação. Tais limitações podem ser encontradas nas representações estatísticas tradicionais que possibilitam uma grande capacidade de síntese, mas que, no entanto, não possuem qualquer informação espacial. Outro tipo de limitação está associado à produção de séries de cartográficas temporais em suporte analógico que obrigam à utilização de várias representações em planta de cada período de tempo (Brandão, Paio e Correia, 2017).

A criação de mapas digitais animados para representação temporal é, no entanto, uma forma de representação das alterações no espaço público que corresponde a um tipo estudo analítico com limitações. As limitações prendem-se com o facto deste tipo de mapa ter uma melhor leitura quando a área em análise é menos extensa e ainda que no caso de uma cidade como Lisboa tenha leitura à escala de cidade, a sua visualização poderá ser mais difícil em áreas urbanas e metropolitanas de maior extensão. Para além das limitações de visualização com a redução de escala, as animações de mapas temporais, representam apenas a ocorrência de alterações no espaço público sem efetuar uma comparação com a densidade da morfologia urbana (Brandão, Paio e Correia, 2018).

Os métodos estatísticos como a estimativa da densidade de núcleo têm a capacidade de superar dados incompletos, fornecendo estimativas sobre a densidade contínua do fenómeno observado. O uso desta estimativa é adequado à investigação informal das propriedades dos conjuntos de dados, fornecendo informações sobre desvios (Brandão, Paio e Correia, 2018).

A estimativa da densidade de núcleo normalmente reconhecida pelo acrónimo KDE (Kernel Density Estimation) é um método de estimar uma função de densidade de probabilidade suave, de dados distribuídos espacialmente de forma descontínua. O KDE em comparação com outros métodos, como histogramas, produz estimativas que não são influenciadas pela escolha da origem ou da direção de uma grelha de análise. Tais características, tornam o KDE particularmente útil em contextos urbanos, uma vez que não é necessária a imposição de grelhas arbitrárias que envolvam compromissos e, eventualmente, padrões obscuros nos dados. Na análise bidimensional, como no presente caso, produz superfícies tridimensionais suaves e contínuas, possibilitando uma melhor legibilidade e facilitando a criação de curvas de igual densidade. Além disso, é um método amplamente disponível em softwares SIG comerciais e *open source* (Brandão, Paio e Correia, 2018).

Os dados introduzidos correspondem a pontos onde as alterações do espaço público estão localizadas, a escolha do tipo de função do Kernel (ou núcleo) e a janela (ou largura de banda) onde é aplicada, bem como a definição da dimensão da grelha de análise. Neste estudo do KDE, tal como, descrito para os mapas temporais, foram utilizados pontos correspondentes a centróides dos polígonos das alterações de espaço público. Existem várias opções para as funções do Kernel, sendo o mais comum

o Kernel gaussiano ou normal e o Kernel quadrático Epanechnikov (Brandão, Paio e Correia, 2018). A escolha recaiu sobre o Kernel Epanechnikov, pela circunstância de ser computacionalmente menos exigente e de ter a capacidade de fazer avaliações com valores nulos e em casos em que a distância do evento é maior que a janela de análise e, por conseguinte, possibilitando uma forma de medição mais localizada do que o Kernel gaussiano (Brandão, Paio e Correia, 2018). Os mesmos motivos estiveram na origem da escolha de uma janela de análise de 400m como proposto por King *et al.* (2015) para estudos de distâncias de caminhadas.

Tal como na produção da animação digital de visualização espaço-temporal, para o estudo do KDE foi mantida a utilização dos pontos no *software* QGIS mas, neste caso, com recurso ao *plugin Heatmap*. Este último, na sua análise, efetua a criação duma grelha que engloba a totalidade do limite do concelho sob a forma de uma imagem *raster TIFF*, correspondendo as subdivisões da grelha à definição do KDE resultante. O procedimento seguinte consiste na aplicação da função Kernel, no caso, a função quadrática de Epanechnikov com otimizações computacionais de Silverman (1986). A função de Epanechnikov é, pois, aplicada a cada ponto e, por conseguinte, a cada alteração da cartografia de espaço público. Por último, a função de estimativa, para cada vértice da malha, atribui uma estimativa da densidade do núcleo. Essa estimativa é o resultado da soma da avaliação da função do Kernel, multiplicada pelo inverso do número de pontos existentes. Desta forma, para todas as alterações do espaço público é multiplicado o quadrado da janela do Kernel. A natureza inversamente proporcional do KDE em relação à distância, faz com que quanto mais afastados os pontos, menor a estimativa. Pelo contrário, uma alta concentração de pontos numa área origina altos valores de KDE (Brandão, Paio e Correia, 2018).

No entanto, uma das limitações da aplicação do KDE, em espaços urbanos, está relacionada com o facto do espaço público disponível não estar uniformemente distribuído levando a que cidade tenha uma densidade subjacente (Brandão, Paio e Correia, 2018). Assim, deve ser tido em consideração que a alteração ou criação de um espaço público não pode ocorrer em qualquer ponto da área do concelho de Lisboa, uma vez que as áreas edificadas, dificilmente originarão espaços de fruição pública. Para superar essa limitação, poderá ser utilizado um Dual KDE como forma de comparação entre a densidade das alterações observados e a densidade do conjunto finito em que estas ocorrem, no caso a totalidade dos espaços não construídos do concelho (Oviasu, 2014).

Como referido, anteriormente, os dados cartográficos da Câmara Municipal de Lisboa tem um identificador único exclusivo para cada elemento gráfico contido nas *shapefiles*, o que se aplica à cartografia e base de dados de alterações do espaço público. O número de elementos gráficos é importante para a estimativa do KDE e embora a base de dados tenha dados com datas anteriores a 2013, foi concluído que apenas os registos posteriores a 2012 haviam sido armazenados de forma mais sistemática. Deste modo, para garantir a consistência dos dados, apenas foram consideradas as alterações registadas entre 2013 a 2017. No referido intervalo de tempo, existiam 243 alterações de espaço público cartografadas, correspondendo cada alteração a um ponto.

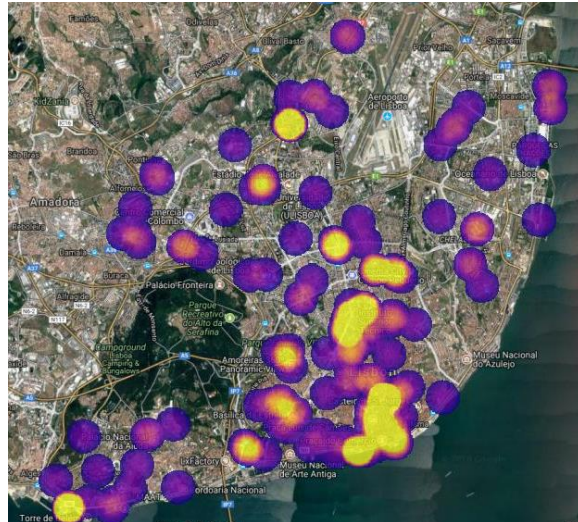


Figura 21 - KDE simples para alterações do espaço público com janela de 400m (base - Google Maps™)

A Figura 21 é um exemplo de um KDE simples que considera apenas os eventos de alterações do espaço público. Da análise da representação cartográfica do KDE, conclui-se que existe uma maior concentração de alterações do espaço público no centro histórico, na zona da Baixa e Cais do Sodré e, também, na zona da Avenida Fontes Pereira de Melo, Praça do Duque de Saldanha e parte Sul da Avenida da Republica. Existindo, ainda, zonas com valores altos, mas de menor extensão no Campo Pequeno, extremos Sul e Norte do Campo Grande e zona da Torre de Belém. A menor concentração de pontos nestas últimas zonas é confirmada através da utilização de uma janela de análise de maiores dimensões com 1000m em que o KDE simples passa a referenciar apenas as zonas da Baixa com alguma extensão à Avenida da Liberdade e da Avenida Fontes Pereira de Melo e da Praça do Duque de Saldanha, de acordo com o apresentado na Figura 22.

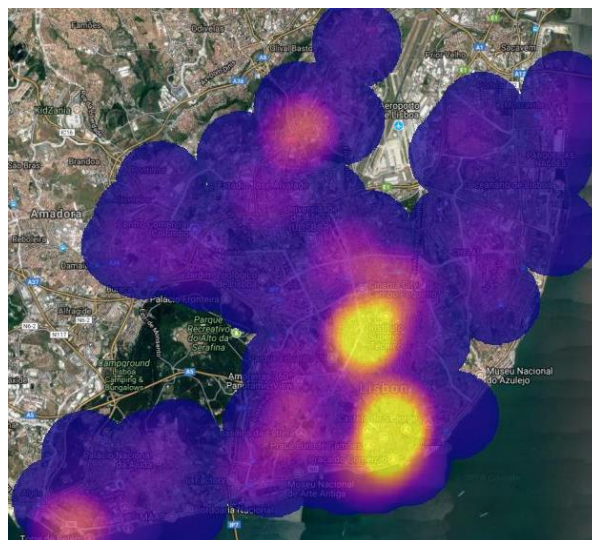


Figura 22 - KDE simples para alterações do espaço público com janela de 1000m (base - Google Maps™)

O estudo do KDE simples procura um equilíbrio entre representações analíticas e sintéticas, sem perda da informação espacial subjacente. Para além deste facto, o método apresentado revela capacidade

de estimar continuamente a densidade subjacente de um determinado fenómeno urbano, com base em amostras aleatórias finitas, no caso o fenómeno da alteração do espaço público. O método descrito não exige um conhecimento profundo das estatísticas a serem usadas, podendo ser utilizado por profissionais que projectam em espaço público como arquitetos paisagistas. A escolha do Kernel quadrático Epanechnikov e respetiva dimensão da janela foi justificada pela literatura analisada (Silverman, 1986) mas, também é possível chegar a uma largura de janela aceitável por simples experimentação visual. Essa experimentação poderia justificar o aumento da janela para 1000m, de acordo com a comparação entre as figuras XX e XXI. De facto, para um arquiteto paisagista ter a perceção das alterações do espaço público à escala da cidade, a experimentação poderá ser uma forma de efetuar este tipo de análise, uma vez que não necessita de uma precisão absoluta e estar adaptado experimentação como forma de projetar, de acordo com o referido em capítulo anterior (Brandão, Paio e Correia, 2018).

No entanto, deve ser realçado que existem várias limitações a este método, relacionadas com a circunstância das distâncias serem medidas num espaço bidimensional. Outra limitação está relacionada com valores excessivos quando existe uma grande concentração de pontos em zonas de alteração vizinhas. Parte das referidas limitações poderá ser ultrapassadas através da utilização de uma rede de ruas em alternativa a um polígono com a totalidade da área urbana em análise (Miller, 1994).

Porém, o KDE com a função quadrática de Epanechnikov é útil para comparar as alterações no espaço público com outros fenómenos urbanos. Desta forma, foi efetuado um pequeno estudo comparativo, utilizando outros dados urbanos como pontos do KDE, mas mantendo a mesma metodologia. Na comparação, foram utilizados dados abertos disponibilizados pela Câmara Municipal de Lisboa (CML) no *site* <http://dadosabertos.cm-lisboa.pt>. Neste caso os pontos foram obtidos com base em informação vetorial georreferenciada em formato aberto *GeoJSON*, contendo informação alfanumérica e gráfica. A primeira comparação foi efetuada com um tema de pontos, contendo as áreas vacantes urbanas (Figura 23). Da análise conjunta de ambos os KDE, sobressai o facto de não existir grande relação entre os valores mais altos de KDE para alterações de espaço público com os KDE das áreas vacantes. Não existe, também, uma grande relação de proximidade entre os valores de KDE. No entanto é de realçar o facto de existirem valores mais altos do KDE para áreas vacantes urbanas nas imediações da rede viária principal de Lisboa.



Figura 23 - Comparação entre o KDE simples para alterações do espaço público e o KDE para as áreas vacantes urbanas, ambos com janela de 400m (base -Google Maps™)

A segunda comparação de valores de KDE foi realizada com dados de licenciamento urbanístico de obras de reabilitação (Figura 24). Neste caso existe uma maior proximidade entre os valores do KDE, ainda que valores altos do licenciamento de reabilitação abranjam uma maior área. Esta maior extensão poderá estar relacionada com um maior número de pontos do KDE do licenciamento de reabilitação. De qualquer modo, as zonas de maior KDE de alteração do espaço público da Baixa e Avenida Fontes Pereira de Melo estão perfeitamente contidas nas zonas de maior KDE de licenciamento de reabilitação.

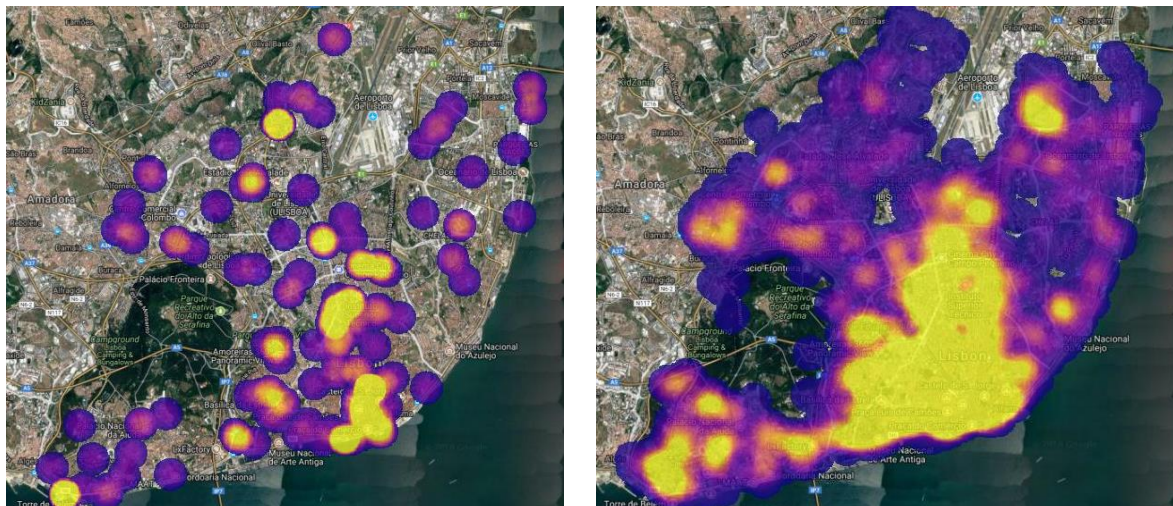


Figura 24 - Comparação entre o KDE simples para alterações do espaço público e o KDE para o licenciamento urbanístico de obras de reabilitação, ambos com janela de 400m (base -Google Maps™)

A terceira e última comparação consistiu na utilização como pontos para o KDE da localização das árvores de arruamento (Figura 25). Os valores de KDE parecem demonstrar que não existe uma grande relação entre as grandes concentrações de árvores de arruamento e as concentrações de alterações do espaço público. Os únicos casos em que existe alguma sobreposição estão localizados na Avenida da Liberdade e, também, na Parte do Campo Grande a Sul da Avenida do Brasil e Cidade Universitária. No entanto é importante ressaltar que se obtêm valores muito altos de KDE de árvores de arruamento para zonas como o Parque das Nações, Avenida da Liberdade, zona da Avenida da Republica incluindo Avenida Cinco de Outubro e transversais, Campo Grande e Jardim da Estrela.



Figura 25 - Comparação entre o KDE simples para alterações do espaço público e o KDE para árvores de arruamento, ambos com janela de 400m (base -Google Maps™)

Considerando o meio urbano como algo em constante transformação, os métodos de representação de alterações do espaço público utilizados permitem ao arquiteto paisagista que projeta e planeia dispor importante informação gráfica. Estas formas de representação constituem meios alternativos para determinação de áreas da cidade onde a renovação urbana do espaço público é mais intensa, possibilitando o enriquecimento dos padrões de análise social e urbana. Os resultados deste estudo podem, também, ter utilidade ao nível do apoio à decisão e da elaboração de políticas públicas e de planeamento urbano ao nível municipal.

Considerações Finais

A investigação baseou-se numa forma de traçar as origens do desenho arquitetónico digital. O aprofundamento do tema da dissertação possibilitou uma reflexão sobre a história da mudança no desenho em arquitetura e design. Tornou-se evidente a mudança de mentalidades, primeiro relacionada com alterações ligadas à industrialização e a evolução tecnológica, depois com a inclusão da ciência no desenho arquitetónico e finalmente com a colocação da ciência da computação ao serviço do desenho.

O século XXI corresponde a uma era digital de grande disponibilidade de dados úteis ao profissional que projeta. Com esses dados, o arquiteto paisagista, tal como outros profissionais que desenham e projetam, tem a possibilidade de produzir novas formas de representação visual dos seus projetos. À capacidade tecnológica de meios, associa-se um conjunto de informação complementar para alimentar a criatividade no desenho de projeto arquitetónico, numa forma até aqui impossível de alcançar. Porém, nas últimas décadas do século XX, na maioria dos casos, os projetistas limitavam-se a mimetizar o desenho analógico de caneta e papel.

A primeira tarefa de maior complexidade nesta investigação consistiu em delimitar no tempo, o início do estudo da evolução do desenho digital. A literatura existente relativa ao desenho digital não marca claramente um início. Alguns dos autores consultados apontam o contributo, ao nível da inclusão da ciência no desenho arquitetónico dado pela New Bauhaus e pela escola alemã HfG Ulm, ou a relação de Gropius com Ian McHarg como influência da tradição da Bauhaus para o Método Ecológico. Com base no cruzamento da extensa bibliografia consultada, definiu-se a Bauhaus como o início por se tratar da primeira escola no século XX que adota a ciência na arte e na arquitetura.

Considerando as limitações de uma investigação para obtenção do grau de mestre, o estudo foca-se em pontos específicos como: assinalar uma corrente de pensamento de inclusão da ciência no ensino e prática arquitetónico, que liga os académicos e investigadores do primeiro capítulo da primeira parte aos académicos e investigadores da segunda parte, incluindo os engenheiros do projeto CAD do MIT que conceberam um sistema de desenho assistido a pensar na utilização por arquitetos e outros criativos.

O estudo captura a evolução do CAD interativo, sobretudo nos ciclos académicos do MIT e Harvard, situados no mesmo subúrbio de Boston, mas, também, através de relações interpessoais entre protagonistas da Bauhaus. Tais relações podem ser resumidas de uma forma bastante abreviada. Christopher Alexander era aluno e orientando de Chermayeff que tinha sido escolhido por Gropius para ocupar o lugar do falecido Moholy-Nagy no Institute of Design de Chicago que tinha sucedido à New Bauhaus. Na New Bauhaus tinha sido professor Gyorgy Kepes, amigo de Gropius que era orientador de Nicholas Negroponte conjuntamente com Steven Coons do projeto CAD. Steven Coons escolheu Negroponte para o substituir como professor de CAD de Engenharia Mecânica, apesar deste ser arquiteto. Coons, também, se relacionava com o francês Bézier, fazendo até intercâmbio de estudantes entre França e os Estados Unidos. Coons tiraria duas licenças sabáticas para poder voltar a trabalhar com Sutherland noutras instituições. Bézier escreveria o obituário de Coons numa publicação científica e dedicar-lhe-ia o seu livro sobre os sistemas CAD/CAM da Renault.

Adicionalmente, à delimitação temporal, a inclusão de um primeiro capítulo, em que uma parte significativa é decorrida três ou quatro décadas antes do CAD interativo, é justificada com a circunstância de, apesar da história do desenho digital arquitetónico ter menos de sessenta anos, existir uma história quase centenária de pensamento de desenho arquitetónico moderno ligado à ciência. Tal pensamento está ligado, em primeiro lugar, a Gropius e a Moholy-Nagy e depois, no Reino Unido dos anos trinta, também, a Leslie Martin e Serge Chermayeff e na New Bauhaus a Gyorgy Kepes. As restantes secções do primeiro capítulo são importantes para fundamentar a existência, tanto de uma computação gráfica não interativa como contributos analógicos quase preparados para a pronta adoção pela computação. A computação gráfica não interativa já era próxima no tempo do CAD interativo e estava ligada, sobretudo, às indústrias de defesa, automóvel e aeronáutica, enquanto os contributos analógicos de Bézier, Casteljaou eram feitos a pensar na computação futura e mesmo o método ecológico de McHarg estava quase preparado para uma adaptação para computação. As três secções do primeiro capítulo, podem, pois, ser consideradas uma “história prévia do CAD”, com importantes contributos para o CAD interativo e para a sua adoção pelo desenho arquitetónico.

Em relação à delimitação temporal do término do estudo, foi considerada a década de setenta, apesar dos pioneiros do desenho arquitetónico digital terem importante trabalho científico até ao século XXI. A escolha do final do espaço temporal, analisado nesta investigação, prendeu-se com o facto da propagação das tecnologias digitais, desde a década de setenta até à atualidade, poder ser considerada como um processo com alguma celeridade que não correspondia ao tema principal da investigação. Esta tratou-se de uma velocidade de propagação do CAD com rapidez suficiente para não promover uma mudança imediata de pensamento dos respetivos utilizadores que desenhavam digitalmente, mas que utilizavam os mesmos procedimentos do desenho analógico. Não tendo começando por ser uma mudança total, foi considerado não existir motivo para caracterizar o tempo da mudança parcial.

Uma consideração que pode ser retirada da investigação da mudança digital no desenho arquitetónico, consiste na circunstância de que a disseminação de meios, ao nível do *software*, não poder ser pensada como elemento fundamental para o desenho digital. Uma vez que a mudança, apesar da grande diversidade de ferramentas digitais, nem sempre é acompanhada por uma disponibilidade de formação dos meios humanos que é inversamente proporcional à facilidade de utilização por não informáticos. A dificuldade de utilização das ferramentas informáticas por leigos no CAD interativo, onde se incluem a maioria dos arquitetos, é, pois, um grande problema que esteve diagnosticado desde *Sketchpad*, uma vez que o próprio Sutherland o constatou ainda na elaboração da sua tese.

Uma grande conclusão que é retirada deste estudo, é a importância de Steven Coons como elemento central da história do digital no século XX. Coons é importante em primeira instância para o desenvolvimento do CAD interativo, e, numa segunda instância, para a extensão do CAD interativo à arquitetura que possibilitou a mudança digital no desenho arquitetónico. Esta conclusão reforça o pensamento já explorado por Llach ao demonstrar uma noção que consubstancia a ligação do CAD, desenvolvido por engenheiros, ao CAD, usado por arquitetos. Esta noção, conjuntamente com a grande importância de Coons é apresentada por Llach (2012, 2015a), através da ideia de

reconfiguração do desenho, imaginada por engenheiros para poder ser utilizada por criativos, nomeadamente arquitetos. Nesta ideia de reconfiguração que une a conceção do CAD interativo pelos engenheiros aos arquitetos é figura central Steven Coons (1966) que para demonstrar a utilidade da máquina na criação artística, chegou mesmo ao ponto de ser provocador, chamando escravo a um computador numa conferência. A importância de Coons, como já anteriormente referido, também foi enaltecida já na presente década por Negroponte e por Bézier, nos anos oitenta, que realçaram a grande importância de Coons para a indústria e para o desenho.

A reconfiguração do desenho dos arquitetos, surge como o resultado de Coons e do Projeto CAD do MIT. Neste, os investigadores do MIT, influenciados pela cibernética, imaginaram o desenho como um processo de representação interativa. A reconfiguração, a etapa seguinte e, relativamente próxima no tempo, já seria centralizada em Negroponte. Este adotou as ideias técnicas e teóricas do projeto CAD para a arquitetura, rompendo com ideia do arquiteto dentro do perímetro das belas artes. A alteração da forma de projetar em arquitetura, através das ferramentas criadas pela engenharia, constitui um elemento fundamental para salientar a ligação das duas partes iniciais da dissertação.

Mais que uma simples mudança de analógico para digital, o recurso à computação no desenho arquitetónico, proporcionou, também, uma mudança de pensamento e de modo de trabalho, alterando contextos profissionais, estabelecidos há várias décadas e a própria produção artística e profissional do arquiteto. Trata-se de uma evolução tecnológica em que a mudança do desenho arquitetónico é dominada pela revolução da informação e comunicação. Tal revolução foi iniciada e, em parte, financiada pela indústria de defesa do período da Guerra Fria. Este financiamento, onde se enquadra a investigação do Projeto CAD, serviria, até, para alterar a metodologia de trabalho no desenho arquitetónico, devido aos novos meios digitais que permitiriam ultrapassar algumas das limitações de desenho analógico.

Tal como Sutherland vislumbrou as dificuldades de utilização do CAD interativo por leigos, Chermayeff e Alexander também vislumbraram, na mesma época de *Sketchpad*, alterações futuras significativas no desenho arquitetónico provocadas pelo computador. Chermayeff e Alexander, descartaram que os arquitetos, iriam, de futuro, precisar de considerar uma variedade de fontes de informação de diferentes áreas científicas para conseguir fazer desenho de projeto com sucesso. Chermayeff fez, mesmo, uma previsão, na conferência "Architecture e the Computer", em 1964, ao referir que o computador iria libertar o arquiteto para uma maior criatividade, ao disponibilizar algum do tempo que era gasto com tarefas repetitivas, não criativas, que passariam a ficar adjudicadas à máquina. Mais que o computador ser o escravo que Coons pretendia para as tarefas não criativas, em meados dos anos sessenta já sobressaia, também, a ideia que está presente no título desta dissertação, a da mudança digital no desenho arquitetónico cujos principais contributos se procuraram apresentar.

A terceira parte da dissertação é constituída por um pequeno caso prático que não procura mais do que demonstrar uma possível forma de evolução da representação visual da cidade e da perceção de fenómenos dentro do meio urbano especialmente os relacionados com o espaço público.

O caso prático apresenta uma demonstração de uso de meios digitais disponíveis no século XXI passíveis de mudar a compreensão do meio urbano para quem projeta e para quem decide. Estes

meios, incluem não só o CAD, mas, também, bases de dados espaciais e temporais. A utilização de tais dados, expõe de forma ativa o legado de todos os académicos que são abordados na primeira e na segunda parte do estudo. O objetivo é, também, evidenciar que o desenho arquitetónico enquadra-se numa era de disponibilidade digital, não só de ferramentas, mas, também, de dados. O trabalho dos profissionais, com a referida disponibilidade, permite abordar a complexidade dos problemas urbanos e desenvolver conjuntamente com os seus projetos, novas formas de representação visual que podem melhorar a perceção do que envolve o espaço público projetado, de uma forma impossível há poucas décadas atrás.

Propostas para futuras investigações:

Como primeira proposta para a realização de futuras investigações é sugerida, em primeiro lugar, o aumento da capacidade de pesquisa com o recurso às bases de dados. Investigações como a presente dissertação, sobre história do desenho e da arquitetura, regra geral, são baseadas em métodos que utilizam uma quantidade limitada de fontes primárias e que originam a perda de uma série de relações e influências com relevância para a história em análise. Uma hipótese para futuras investigações poderá passar pelo recurso a uma nova metodologia que possibilite a utilização da quantidade de fontes de dados digitais disponíveis *online*, que normalmente não são considerados numa pesquisa histórica, por falta de estruturação e pelo facto de não serem especificamente destinados a tal fim. Tais dados, disponíveis em transcrições de áudio e vídeo ou meta dados de publicações ou, mesmo, notas curriculares, podem não ter utilização direta numa investigação histórica, mas podem ser reutilizados como fontes secundárias, através do recurso a bases de dados geoespaciais e temporais conjugadas com métodos de mapeamento, análise e visualização.

Uma segunda proposta consiste no estender da investigação no tempo procurando relacionar os primórdios do CAD interativo e os primeiros arquitetos digitais com o desenho arquitetónico atual e com o que Kolarevic (2000, 2001, 2004) define como arquitetura digital que pode ser considerada, de uma forma breve, como um aglomerado de várias arquiteturas onde se encontram o desenho paramétrico, os espaços topológicos ou a cinemática.

Uma terceira proposta é aproximar a arquitetura a uma abordagem descrita como transdisciplinar e que Burry (2013) considera como um arquitetura redefinida com outras disciplinas. Burry (2011) considera que os arquitetos estão num movimento rápido de alteração de função com a passagem de utilizador avançado para criador de ferramentas digitais para resolução de problemas específicos. Ligar o desenhador / programador paramétrico do século XXI ao desenhador / programador digital da arquitetura da década de sessenta do Século XX pode ser uma hipótese de investigação futura.

Bibliografia

- Aish, R. and Bredella, N. (2017) 'The evolution of architectural computing: from Building Modelling to Design Computation', *Architectural Research Quarterly*. Cambridge University Press, 21(1), pp. 65–73. doi: 10.1017/S1359135517000185.
- Akin, O. (2001) 'Simon Says: Design in Representation', *Unpublished manuscript, School of Architecture, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA*. Retrieved from <http://www.andrew.cmu.edu/user/oa04/Papers/AradSimon.pdf>.
- Akin, O. (2010) 'CAD/GIS integration: rationale and challenges', *CAD and GIS integration edited by Hassan A. Karimi, Burcu Akinci, CRC, Boca Raton, ISBN10, 1420068059*.
- Akin, Ö. and Akin, C. (1998) 'On the process of creativity in puzzles, inventions, and designs', *Automation in Construction*. Elsevier, 7(2–3), pp. 123–138.
- Alexander, C. (1964) *Notes on the Synthesis of Form*. Harvard University Press (Harvard Paperbacks).
- Alexander, C. (1965) 'A city is not a tree', *Architectural forum*, 122(1), pp. 58–62.
- Alexander, C. (1971) *Notes on the Synthesis of Form*. Harvard University Press.
- Alexander, C. (1999) 'The origins of pattern theory: the future of the theory, and the generation of a living world', *IEEE Software*, 16(5), pp. 71–82. doi: 10.1109/52.795104.
- Alexander, C., Ishikawa, S. and Silverstein, M. (1977) *A Pattern Language*. Oxford University Press.
- Alexander, C. and Manheim, M. L. (1962) *The design of highway interchanges: an example of a general method for analysing engineering design problems*. School of Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Alexander, C. and Manheim, M. L. (1963) 'HIDECS 2: An IBM 709/7090 Program for the Hierarchical Decomposition of a Set with an Associated Linear Graph. (CPA 119) Computer program abstracts', *Behavioral Science*. John Wiley & Sons, Ltd., pp. 168–176. doi: 10.1002/bs.3830080213.
- Allen, M. (2016) 'Representing Computer-Aided Design: Screenshots and the Interactive Computer circa 1960', *Perspectives on Science*. MIT Press.
- Anker, P. (2005) 'The Bauhaus of nature', *Modernism/modernity*. The Johns Hopkins University Press, 12(2), pp. 229–251.
- Anker, P. (2010) *From Bauhaus to Eco-House: A History of Ecological Design*. First.
- Ayer, A. J. (1981) 'The Vienna Circle', *Midwest Studies in Philosophy*. Wiley Online Library, 6(1), pp. 173–188.
- Banham, R. (1960) *Theory and design in the first machine age*. New York: Praeger Paperbacks.
- Barnhill, R. E. and Riesenfeld, R. F. (2014) *Computer Aided Geometric Design*. Elsevier Science. Available at: <https://books.google.pt/books?id=k7ziBQAAQBAJ>.
- Batty, M. (1976) *Urban Modelling*. Cambridge University Press.
- Batty, M. (2015) 'Data About Cities: Redefining Big, Recasting Small', *CASA Working Papers Series*, (203), pp. 0–18. doi: 10.1103/PhysRevE.78.016110.
- Bayazit, N. (2004) 'Investigating design: A review of forty years of design research', *Design issues*. MIT Press, 20(1), pp. 16–29.
- Beardon, C. (2003) 'The Digital Bauhaus: aesthetics, politics and technology', *Digital Creativity*. Taylor & Francis, 14(3), pp. 169–179.
- Bender, W. (1980) *Computer animation via optical video disc*. Massachusetts Institute of Technology.
- Berkeley, E. (1950) *Giant Brains, or Machines That Think*.
- Bézier, P. E. (1983) 'UNISURF, from styling to tool-shop', *Computers in Industry*, 4(2), pp. 115–126. doi: [https://doi.org/10.1016/0166-3615\(83\)90017-9](https://doi.org/10.1016/0166-3615(83)90017-9).
- Bhoosan, S. (2017) 'Collaborative Design: Combining Computer-Aided Geometry Design and Building Information Modelling', *Architectural Design*. Wiley Online Library, 87(3), pp. 82–89.
- Bianchi, R. A. C. and Rillo, M. (1995) 'Integração de um sistema de planejamento de atividades numa célula de montagem robotizada', in *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE*, pp. 195–200.
- Bolt, R. A. (1980) *Put-that-there: Voice and gesture at the graphics interface*. ACM.
- Bourke, P. (1988) 'Calculating the area and centroid of a polygon', *Swinburne Univ. of Technology*.
- Brandão, F., Paio, A. and Correia, R. M. (2017) 'Rhythms of Renewal of the City', in *Blucher Design Proceedings XXI Congresso Internacional de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital*. Blucher, pp. 492–498. doi: <http://dx.doi.org/10.5151/sigradi2017-077> UR - <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/rhythms-of-renewal-of-the-city-27672>.
- Brandão, F., Paio, A. and Correia, R. M. (2018) 'Measuring Urban Renewal: a dual kernel density estimation to assess the intensity of building renovation', in *4th International Symposium Formal Methods in Architecture*.
- Broadbent, G. (1973) *Design in architecture: architecture and the human sciences*. Wiley London.
- Broadbent, G. and Ward, A. (1969) *Design methods in architecture*. Lund Humphries.

- Buchanan, R. (2009) 'Thinking about design: An historical perspective', *Philosophy of technology and engineering sciences*. Elsevier Amsterdam, pp. 409–454.
- Burry, M. (1996) 'Parametric design and the Sagrada Familia', *arq: Architectural Research Quarterly*. Cambridge University Press, 1(4), pp. 70–81.
- Burry, M. (2011) *Scripting cultures: Architectural design and programming*. John Wiley & Sons.
- Burry, M. (2013) 'Towards meeting the challenges of facilitating transdisciplinarity in design education, research and practice', in Hensel, M. U. (ed.) *Design Innovation for the Built Environment: Research by Design and the Renovation of Practice*. Routledge.
- Burry, M. and Murray, Z. (1997) 'Architectural design based on parametric variation and associative geometry'.
- Calixto, V. and Celani, G. (2015) 'A literature review for space planning optimization using an evolutionary algorithm approach: 1992-2014', *Blucher Design Proceedings*, 2(3), pp. 662–671.
- Capurro, R. and Hjørland, B. (2007) 'The concept of information as we use in everyday', *Perspectivas em ciência da informação*. SciELO Brasil, 12(1), pp. 148–207.
- Carlson, W. (2008) 'A Critical History of Computer Graphics and Animation, 2007', URL: <https://design.osu.edu/carlson/history/ID797.html> (1/16/2012).
- Carlsson, M. K. (2013) *Stratified, de-stratified, and hybrid GIS: organizing a cross-disciplinary territory for design*. Massachusetts Institute of Technology.
- Carpo, M. (2011) *The alphabet and the algorithm*. MIT Press.
- Catmull, E. (1972) 'A System for Computer Generated Movies', *Proceedings of the ACM National Conference*. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/a5b0/f306999d9aab5b1674e4c07f417cfaad441.pdf> (Accessed: 18 January 2017).
- Catmull, E. (1974) *A subdivision algorithm for computer display of curved surfaces*.
- Chermayeff, S. (1985) *Oral history of Serge Chermayeff / interviewed by Betty J. Blum, compiled under the auspices of the Chicago Architects Oral History Project, Dept. of Architecture, the Art Institute of Chicago. :: Chicago Architects Oral History Project*. Available at: <http://digital-libraries.saic.edu/cdm/compoundobject/collection/caohp/id/1952/rec/1> (Accessed: 9 January 2017).
- Chermayeff, S. and Alexander, C. (1963) *Community and privacy: Toward a new architecture of humanism*. Doubleday.
- Chrisman, N. (2006) *Charting the unknown: How computer mapping at Harvard became GIS*. Esri Press.
- Clark, J. H. (1974) *3-D Design of Free-form B-spline Surfaces*.
- Clark, W. (1988) 'The LINC was early and small', in *A history of personal workstations*, pp. 345–400.
- Claudel, M., Nagel, T. and Ratti, C. (2015) 'From Origins to Destinations: The Past, Present and Future of Visualizing Flow Maps', *Built Environment*, 42(3), p. 200. Available at: <http://www.alexandrinepress.co.uk/Announcing-Big-Data-Issue>.
- Coons, S. A. (1963) 'An outline of the requirements for a computer-aided design system', in *Proceedings of the May 21-23, 1963, spring joint computer conference, Detroit, Michigan*, pp. 299–304.
- Coons, S. A. (1966) 'Design and the Computer || Computer-Aided Design', *Design Quarterly*, (66–67). doi: 10.2307/4047327.
- Coons, S. A. (1967) *Surfaces for Computer-Aided Design of Space Forms*.
- Copeland, B. J. (2000) 'The turing test', *Minds and Machines*. Springer, 10(4), pp. 519–539.
- Copeland, B. J. (2004) *The essential turing*. Clarendon Press.
- Copeland, B. J. and Proudfoot, D. (2012) 'Turing and the computer'. Oxford University Press.
- Copeland, J. and Aston, G. (1999) *London's first computer*. Available at: http://www.alanturing.net/turing_archive/archive/infopages/london1st.html (Accessed: 23 March 2018).
- Covey, P. K. (1988) 'The Role of Design in Liberal/Professional Education'. Available at: <http://repository.cmu.edu/philosophy> (Accessed: 9 January 2017).
- Cross, N. (1986) 'The Development of Design Methodology in Architecture, Urban Planning and Industrial Design', in Trappl, R. (ed.) *Cybernetics and Systems '86: Proceedings of the Eighth European Meeting on Cybernetics and Systems Research, organized by the Austrian Society for Cybernetic Studies, held at the University of Vienna, Austria, 1--4 April 1986*. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 173–180. doi: 10.1007/978-94-009-4634-7_23.
- Cross, N. (1993) 'A history of design methodology', in *Design methodology and relationships with science*. Springer, pp. 15–27.
- Cross, N. (2007) 'Forty years of design research', *Design Research Quarterly*. Design Research Society, 2(1), pp. 3–5.
- Darling, E. (2014) 'From cockpit to domestic interior: the Great War and the architecture of Wells Coates', *The Journal of Architecture*. Taylor & Francis, 19(6), pp. 903–922.
- Defanti, T. A. and Brown, M. D. (1991) 'Visualization in scientific computing', *Advances in Computers*. Elsevier, 33, pp. 247–307.
- Deming, M. E. and Swaffield, S. (2011) *Landscape Architectural Research: Inquiry, Strategy, Design*. Wiley. Available at: <https://books.google.pt/books?id=FMgq98KFI98C>.

- Donelson, W. C. (1977) *Spatial management of data*. Massachusetts Institute of Technology.
- Donelson, W. C. (1978) 'Spatial management of information', in *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, pp. 203–209.
- Downey, G. L. (2014) *The machine in me: An anthropologist sits among computer engineers*. Routledge.
- Dreher, T. (2014) 'History of Computer Art'.
- Dubberly, H. and Evenson, S. (2011) 'Design as learning---or knowledge creation---the SECI model', *interactions*. ACM, 18(1), pp. 75–79.
- Dyckhoff, T. (2017) *The Age of Spectacle: Adventures in Architecture and the 21st-Century City*. Random House. Available at: https://books.google.pt/books?id=2dE_DgAAQBAJ.
- Eastman, C. M. (1968) 'Explorations of the cognitive processes in design', pp. 1–108. Available at: <http://repository.cmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2836&context=compsci>.
- Eastman, C. M. (1969) 'Cognitive processes and ill-defined problems: A case study from design', in *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence: IJCAI*, pp. 669–690.
- Eastman, C. M. (1970a) 'On the analysis of intuitive design processes', in Moore, G. T. (ed.) *Emerging methods in environmental design and planning*. MIT press, pp. 21–37.
- Eastman, C. M. (1970b) 'Representations for space planning', *Communications of the ACM*. Association for Computing Machinery, 13(4). doi: 10.1145/362258.362281.
- Eastman, C. M. (1971a) 'GSP: A System for Computer Assisted Space Planning', in *Proceedings of the 8th Design Automation Workshop*. New York, NY, USA: ACM (DAC '71), pp. 208–220. doi: 10.1145/800158.805073.
- Eastman, C. M. (1971b) 'Heuristic algorithms for automated space planning', in *Proceedings of the 2nd international joint conference on Artificial intelligence*, pp. 27–39.
- Eastman, C. M. (1972) 'Preliminary report on a system for general space planning', *Communications of the ACM*. ACM, 15(2), pp. 76–87.
- Eastman, C. M. (1973) 'Automated space planning', *Artificial intelligence*. Elsevier, 4(1), pp. 41–64.
- Eastman, C. M. (1974) 'Through the looking glass: why no wonderland: Computer applications to architecture in the USA', *Computer-Aided Design*, 6(3), pp. 119–124. doi: [https://doi.org/10.1016/0010-4485\(74\)90042-6](https://doi.org/10.1016/0010-4485(74)90042-6).
- Eastman, C. M. (1975) 'The use of computers instead of drawings in building design', *AIA Journal*, 63(3), pp. 46–50.
- Eastman, C. M. (1976) 'General purpose building description systems', *Computer-Aided Design*. Elsevier, 8(1), pp. 17–26.
- Eastman, C. M. (2001) 'New directions in design cognition: studies of representation and recall', in Eastman, C., Newstetter, W., and McCracken, M. (eds) *Design knowing and learning: Cognition in design education*. Elsevier, pp. 147–198.
- Eastman, C. M., Fisher, D., Lafue, G., Lividini, J., Stoker, D., Yessios, C. and Carnegie-Mellon University, P. (1974) 'An Outline of the Building Description System', pp. 1–23. Available at: <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED113833.pdf>.
- Eastman, C. M. and Henrion, M. (1977) 'Glide: a language for design information systems', in *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, pp. 24–33.
- Eastman, C. M., Lividini, J. and Stoker, D. (1975) 'A database for designing large physical systems', in *Proceedings of the May 19-22, 1975, national computer conference and exposition*, pp. 603–611. doi: 10.1145/1499949.1500073.
- Eastman, C. M., Teicholz, P., Sacks, R. and Liston, K. (2008) *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. John Wiley & Sons, Inc.
- English, W. K., Engelbart, D. C. and Berman, M. L. (1967) 'Display-selection techniques for text manipulation', *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*. IEEE, (1), pp. 5–15.
- Fabos, J. G., Milde, G. T. and Weinmayr, V. M. (1968) *Frederick Law Olmsted, Sr.; founder of landscape architecture in America*. University of Massachusetts Press.
- Fano, R. M. (1964) *The MAC system: a progress report*.
- Farin, G. (2002) 'A history of curves and surfaces', *Handbook of Computer Aided Geometric Design*. Elsevier, 1.
- Farin, G. E. and Hansford, D. (2000) *The essentials of CAGD*. AK Peters Natick, MA.
- Fernando, R. A. (2014) *Representations for evolutionary design modelling*. Queensland University of Technology.
- Fetter, W. A. (1966) 'Design and the Computer || Computer Graphics', *Design Quarterly*, (66–67). doi: 10.2307/4047328.
- Fetter, W. A. (1982) 'A Progression of Human Figures Simulated by Computer Graphics', *IEEE Computer Graphics and Applications*. IEEE, 2(9). doi: 10.1109/mcg.1982.1674468.
- Finch, E. (2005) *Languages of Vision: Gyorgy Kepes and the New Landscape of Art and Science*, Ann Arbor, MI: UMI Dissertation Publication. doi: 10.1177/001088048102200214.
- Findeli, A. (1990) 'Moholy-Nagy's design pedagogy in Chicago (1937-46)', *Design Issues*. JSTOR, 7(1), pp. 4–19.
- Findeli, A. (1991) 'Bauhaus education and after: some critical reflections', *The Structurist*. University of Saskatchewan, (31), p. 32.
- Findeli, A. (1995) *Le Bauhaus de Chicago: l'oeuvre pédagogique de László Moholy-Nagy*. Sillery (Québec): Septentrion (Hors

- Collection Klincksieck). Available at: <https://books.google.pt/books?id=c0Ald48P7BkC>.
- Findeli, A. (2001) 'Rethinking design education for the 21st century: Theoretical, methodological, and ethical discussion', *Design issues*. MIT Press, 17(1), pp. 5–17.
- Findeli, A. and Benton, C. (1991) 'Design education and industry: the laborious beginnings of the Institute of Design in Chicago in 1944', *Journal of design history*. JSTOR, 4(2), pp. 97–113.
- Frampton, K. (1974) *Apropos Ulm: Curriculum and Critical Theory*.
- Franke, H. W. (1985) 'Computer graphics - computer art'. Springer-Verlag New York, Inc.
- Friendly, M. and Joseph, C. (2002) 'Visions and Re-Visions of Charles Joseph Minard', *Journal of Educational and Behavioral Statistics Spring*, 27(1), pp. 31–51.
- Gaboury, J. (2013) 'Object Standards, Standard Objects'. doi: 10.1093/cje/bep021.
- Gaboury, J. (2015a) 'Hidden Surface Problems: On the Digital Image as Material Object', *journal of visual culture* [<http://vcu.sagepub.com>] SAGE Publications, 14(1), pp. 40–60. doi: 10.1177/1470412914562270.
- Gaboury, J. (2015b) *Image Objects: An Archaeology of 3D Computer Graphics, 1965 - 1979*. New York University. doi: 10.1177/1470412914562270.
- Gaboury, J. (2016) 'Other Places of Invention: Computer Graphics at the University of Utah', in Misa, T. J. (ed.) *Communities of Computing: Computer Science and Society in the ACM*. Morgan & Claypool, pp. 259–286.
- Galison, P. (1990) 'Aufbau/Bauhaus: Logical positivism and architectural modernism', *Critical Inquiry*. University of Chicago Press, 16(4), pp. 709–752.
- Garcia Martinez, P. (2016) *El proyecto de vivienda como laboratorio de estrategias para Sejima y Nishizawa de 1987 a 2010*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Ghenoiu, E. (2012) 'The resurgence of visual urbanism in the American architectural discourse, 1954–1972', *The Journal of Architecture*. Taylor and Francis Group, 17(5). doi: 10.1080/13602365.2012.724880.
- Goldman, R. (2004) 'The fractal nature of Bézier curves', in *Geometric Modeling and Processing, 2004. Proceedings*, pp. 3–11.
- Goldstine, H. H. (1993) *The Computer from Pascal to von Neumann*. Princeton University Press.
- Gorges, I. (2003) 'Technology and context: the impact of collective action on the development of knowledge', *The Political Context of Collective Action*. Routledge, p. 32.
- Gregory, S. A. (1966) *The design method*. Springer.
- Gupta, N. and Nau, D. S. (1992) 'On the complexity of blocks-world planning', *Artificial Intelligence*. Elsevier, 56(2–3), pp. 223–254.
- Hays, K. M. (1999) 'Diagramming the New World, or Hannes Meyer's', *Scientization of Architecture, in The Architecture of Science, edited by P. Galison and E. Thompson, (the MIT press, Cambridge, MA)*, pp. 233–252.
- Henderson, H. (2009) *Encyclopedia of computer science and technology*. Infobase Publishing.
- Herot, C. F. and Weinzapfel, G. (1978) 'One-point touch input of vector information for computer displays', in *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, pp. 210–216.
- Herrington, S. (2010) 'The nature of Ian McHarg's science', *Landscape Journal*. University of Wisconsin Press, 29(1), pp. 1–20.
- Herzog, B., Hatvany, J. and Bézier, P. (1982) 'In memory of Steven Anson Coons', *Computers in Industry*. Elsevier Science, 3(1–2). doi: 10.1016/0166-3615(82)90026-4.
- Hodgman, G. and Sutherland, I. (1974) 'Computer graphics clipping system for polygons'. Google Patents.
- Homayouni, H. (2007) *A genetic algorithm approach to space layout planning optimization*. University of Washington Seattle.
- Hounshell, D. (1997) 'The Cold War, RAND, and the generation of knowledge, 1946-1962', *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*. JSTOR, 27(2), pp. 237–267.
- Hughes, J. F., Dam, A. van, McGuire, M., Sklar, D. F., Foley, J. D., Feiner, S. K. and Akeley, K. (1995) *Computer Graphics: Principles and Practice*. Edited by Addison-Wesley.
- Hughes, R. (1981) *The shock of the new*. Knopf.
- Hurst, J., Mahoney, M. S., Taylor, N. H., Ross, D. T. and Fano, R. M. (1989) 'Retrospectives: The Early Years in Computer Graphics at MIT, Lincoln Lab and Harvard', *Siggraph '89 Panel Proceedings*, pp. 19–38.
- Isaacs, R. (1991) *Gropius: An illustrated biography of the creator of the Bauhaus*. Little, Brown,.
- Isaacson, W. (2014) *The Innovators: How a Group of Hackers, Geniuses, and Geeks Created the Digital Revolution*. Simon and Schuster.
- Jacobs, J. (1961) *The Death and Life of Great American Cities*. Vintage Books (Vintage Books ed). Available at: <https://books.google.pt/books?id=F4NHAAAAMAAJ>.
- John-Alder, K. L. (2014) 'Toward a new landscape: modern courtyard housing and Ian McHarg's urbanism', *Journal of Planning History*. Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 13(3), pp. 187–206.
- Johnson, T. E. (1963) *Sketchpad III, three dimensional graphical communication with a digital computer*. Massachusetts

Institute of Technology.

- Jones, J. C. (1966) 'Design Methods Reviewed', in Gregory, S. A. (ed.) *The Design Method*. Boston, MA: Springer US, pp. 295–309. doi: 10.1007/978-1-4899-6331-4_32.
- Jones, J. C. (1970) *Design Methods*. Wiley (A VNR book). Available at: <https://books.google.pt/books?id=IR7KZXa1NI8C>.
- Jones, J. C. and Thornley, D. G. (1963) *Conference on design methods*. Edited by J. C. Jones and D. G. Thornley. Oxford: Pergamon Press.
- Kalay, Y. E. (2004) *Architecture's new media: Principles, theories, and methods of computer-aided design*. MIT Press.
- Kassem, D. (2014) 'The Sketchpad Window'. Available at: https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/63920/Kassem_DM_D_2015.pdf?sequence=2&isAllowed=y (Accessed: 17 April 2017).
- Kay, A. C. (1996) 'The early history of Smalltalk', in *History of programming languages---II*, pp. 511–598.
- Keller, S. B. (2005) *Systems Aesthetics: Architectural Theory at the University of Cambridge, 1960-75: a Thesis*. UMI Dissertation Services.
- Kepes, G. (1944) *Language of vision*. Paul Theobald, Chicago.
- Kepes, G. (1956) *The New Landscape in Art and Science*. Chicago: Paul Theobald and Company.
- King, T. L., Thornton, L. E., Bentley, R. J. and Kavanagh, A. M. (2015) 'The Use of Kernel Density Estimation to Examine Associations between Neighborhood Destination Intensity and Walking and Physical Activity', *PLOS ONE*. Edited by J. Harezlak, 10(9), pp. e0137402–e0137402. doi: 10.1371/journal.pone.0137402.
- Klütsch, C. (2005) 'The Summer 1968 in London and Zagreb: Starting or End Point for Computer Art?', in *Proceedings of the 5th Conference on Creativity & Cognition*. New York, NY, USA: ACM (C&C '05), pp. 109–117. doi: 10.1145/1056224.1056241.
- Kolarevic, B. (2000) 'Digital architectures', in *Proceedings of the ACADIA 2000 Conference, ACADIA*.
- Kolarevic, B. (2001) 'Designing and manufacturing architecture in the digital age', *Architectural information management*. Espoo: eCAADe & Helsinki University of Technology, pp. 2001117–2001123.
- Kolarevic, B. (2004) *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. Taylor & Francis.
- Krippendorff, K. (2005) *The semantic turn: A new foundation for design*. crc Press.
- Krüger, M. J. T. (1986) *Teorias e analogias em arquitetura*. Projeto. Available at: <https://books.google.pt/books?id=LQM4HAAACAAJ>.
- Krüger, M. J. T. (2005) *Leslie Martin e a escola de Cambridge*. Eldarq (Debaixo de Telha: Série A). Available at: <https://books.google.pt/books?id=-iOnNQAACAAJ>.
- Krull, F. (1994) 'The Origin of Computer Graphics within General Motors',.
- Lacerda, A. P. de (2012) *Pioneiros dos métodos de projeto (1962-1973): redes na gênese da metodologia do design*.
- Laurence, P. L. (2006) 'The Death and Life of Urban Design: Jane Jacobs, The Rockefeller Foundation and the New Research in Urbanism, 1955–1965', *Journal of Urban Design*. Taylor and Francis Group, 11. doi: 10.1080/13574800600644001.
- Laurent, P.-J. and Sablonnière, P. (2001) 'Pierre Bézier: An engineer and a mathematician', *Computer Aided Geometric Design*, 18(7), pp. 609–617. doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-8396\(01\)00056-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8396(01)00056-5).
- Lavor, C. (2006) 'Um Passeio pela Teoria da Informação (Clássica e Quântica)'.
- Lawson, B. (2006) *How designers think: the design process demystified*. Routledge.
- Lévy, P. (2001) *Cyberculture*. U of Minnesota Press.
- Licklider, J. C. R. (1960) 'Man-Computer Symbiosis*', *IRE TRANSACTIONS ON HUMAN FACTORS IN ELECTRONICS*, (March), pp. 4–11.
- Licklider, J. C. R. and Taylor, R. W. (1968) 'The computer as a communication device', *Science and technology*, 76(2), pp. 1–3.
- Llach, D. C. (2012) *Builders of the Vision*. Massachusetts Institute of Technology.
- Llach, D. C. (2015a) *Builders of the Vision: Software and the Imagination of Design*. Routledge.
- Llach, D. C. (2015b) 'Software Comes to Matter: Toward a Material History of Computational Design', *Design Issues*. MIT Press, 31(3), pp. 41–54.
- Llach, D. C. (2017) 'Architecture and the Structured Image: Software Simulations as Infrastructures for Building Production', in *The Active Image*. Springer, pp. 23–52.
- Llach, D. C. and Forrest, R. (2017) 'Of algorithms, buildings and fighter jets: a conversation with Robin Forrest', *Architectural Research Quarterly*. Cambridge University Press, 21(1), pp. 53–64.
- Longo, B. (2015) *Edmund Berkeley and the Social Responsibility of Computer Professionals*. Morgan & Claypool Publishers.
- Lynch, K. (1960) *The image of the city*.
- M'Closkey, K., Vandersys, K., M'Closkey, K. and Vandersys, K. (2017) *Dynamic Patterns: Visualizing Landscapes in a Digital*

- Age. Taylor & Francis. Available at: <https://books.google.pt/books?id=e2WEDgAAQBAJ>.
- Mann, R. W. (1993) '16 Computer-Aided Design- 1959 Through 1965-in the Design and Graphics Division of MIT's Mechanical Engineering Department', *Fundamental Developments of Computer-aided Geometric Modeling*. Academic Press, p. 381.
- Mann, R. W. (2001) 'Letters', *Mechanical Engineering*. New York: American Society of Mechanical Engineers, 123(1), p. 6. Available at: <https://unmval.idm.oclc.org/login?URL=?url=https://search.proquest.com/docview/230185848?accountid=39519>.
- Manovich, L. (2007) 'Alan Kay's universal media machine', *Northern Lights: Film & Media Studies Yearbook*. Intellect, 5(1), pp. 39–56.
- Manovich, L. (2013) *Software takes command*. A&C Black.
- March, L. (2000) 'Setting out the possibilities: Leslie Martin and the advancement of architectural knowledge', *Architectural Research Quarterly*, 4(4).
- Martin, J. L., Nicholson, B. and Gabo, N. (1937) *Circle; International Survey of Constructive Art*. Praeger Publishers.
- McHarg, I. (1969) *Design with Nature*. American Museum of Natural History.
- McHarg, I. (2001) 'In Memoriam: Ian McHarg Reflects on the Past, Present and Future of GIS', *GEO World*. Available at: http://gisknowledge.net/topic/spatial_thinking_and_gis/geoworld_interview_ian_mcharg_95.pdf (Accessed: 19 December 2017).
- McHarg, I. L. (1996) *A Quest for Life: An Autobiography*. Wiley (Center books on contemporary landscape design). Available at: https://books.google.pt/books?id=-fS_FFn0z8C.
- McHarg, I. L. (2014) 'An ecological method for landscape architecture', in Ndubisi, F. O. (ed.) *The Ecological Design and Planning Reader*. Springer, pp. 341–347.
- McHarg, I. L., Margulies, L., Corner, J. and Hawthorne, B. (2007) *Ian McHarg/Dwelling in Nature: Conversations with Students*. Princeton Architectural Press.
- McHarg, I. L., Steiner, F. R. and Yaro, R. (2007) *To Heal the Earth: Selected Writings of Ian L. McHarg*. Island Press. Available at: <https://books.google.pt/books?id=bB-8BwAAQBAJ>.
- McKenzie, J. A. (1999) 'TX-0 computer history'. Research Laboratory of Electronics, Massachusetts Institute of Technology.
- McLuhan, M. (1964) *Understanding Media: The Extensions of Man, The Extensions of Man*. New York. McGraw-Hill Book Co.
- Medosch, A. (2016) *New Tendencies: Art at the Threshold of the Information Revolution (1961-1978)*. MIT Press.
- Mehaffy, M. W. (2007) 'Notes on the genesis of wholes: Christopher Alexander and his continuing influence', *Urban Design International*. Springer, 12(1), pp. 41–49.
- Miller, H. J. (1994) 'Market area delineation within networks using geographic information systems', in *Geographical Systems*. 2nd edn, pp. 157–173.
- Mitchell, W. J. (2001) 'Roll over Euclid: how Frank Gehry designs and builds', *Frank Gehry, Architect*. Guggenheim Museum New York, pp. 352–363.
- Mitchell, W. J. (2008) *A lógica da arquitetura: projeto, computação e cognição*. UNICAMP. Available at: https://books.google.pt/books?id=_9OHPgAACAAJ.
- Mitchell, W. J. (2008) *World's greatest architect: making, meaning, and network culture*. MIT Press.
- Mitchell, W. J. (2009) *William J. Mitchell | MIT Infinite History*. Available at: <https://infinitehistory.mit.edu/video/william-j-mitchell> (Accessed: 7 January 2017).
- Mitchell, W. J. and McCullough, M. (1995) *Digital design media*. John Wiley & Sons.
- Mohl, R. (1981) *Cognitive space in the interactive movie map: an investigation of spatial learning in virtual environments*. Massachusetts Institute of Technology.
- Moholy-Nagy, L. (1929) *Von Material zu Architektur*. F. Kupferberg.
- Moholy-Nagy, L. (1947) *The new vision and Abstract of an artist*. Wittenborn, Schultz New York.
- Moore, G. T. (1970) *Emerging methods in environmental design and planning*. MIT Press.
- Morash, R. (1964) *Computer Sketchpad, Science Reporter, edited by The Lowell Institute*.
- Moreira, D. de C. (2007) *Os Principios Da Sintese Da Forma E A Analise De Projetos Arquitetonicos*. [sn].
- Nagakura, T. and Tibbits, S. (2017) 'ACADIA 2017: DISCIPLINES & DISRUPTION'.
- Nake, F. (2007) 'Computer art: creativity and computability', in *Proceedings of the 6th ACM SIGCHI conference on Creativity & cognition*, pp. 305–306.
- Negroponce, N. (1965) *Systems of urban growth*. Massachusetts Institute of Technology.
- Negroponce, N. (1966) 'The Computer Simulation Of Perception During Motion In The Urban Environment'. Available at: <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/13288/25060734-MIT.pdf?sequence=2>.
- Negroponce, N. (1970) *The architecture machine*. MIT press.

- Negroponte, N. (1975) *Soft architecture machines*.
- Negroponte, N. (1995) *Being digital*. Vintage Books (Vintage Series). Available at: <https://books.google.pt/books?id=LcvR9WHvXmAC>.
- Negroponte, N. (1996) 'Books Without Pages', *SIGDOC Asterisk J. Comput. Doc.* New York, NY, USA: ACM, 20(3), pp. 2–8. doi: 10.1145/235741.235742.
- Negroponte, N. (2010) *Nicholas Negroponte '66, MAR '66 | MIT Infinite History*. USA: MIT. Available at: <https://infinitehistory.mit.edu/video/nicholas-negroponte-'66-mar-'66> (Accessed: 7 January 2017).
- Negroponte, N. (2014) *Nicholas Negroponte: A 30-year history of the future | TED Talk | TED.com*. Canada: TED. Available at: https://www.ted.com/talks/nicholas_negroponte_a_30_year_history_of_the_future (Accessed: 7 January 2017).
- Neves, I. C. (2015a) 'Abordagem científica ao Projecto no início da Era Computacional—Hochschule fur Gestaltung of Ulm ea sua diáspora', *Blucher Design Proceedings*, 2(3), pp. 528–543.
- Neves, I. C. (2015b) 'Contribuição de Horst Rittel para a abordagem científica ao projecto no inicio da era computacional', *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, 6(1), pp. 39–55.
- Neves, I. C., Rocha, A. J. and Duarte, J. (2013) 'The Legacy of Ulm for Computational Design Research in Architecture', (Caadria), pp. 293–302.
- Neves, I. C. and Rocha, J. (2013) 'The contribution of Tomas Maldonado to the scientific approach to design at the beginning of computational era. The case of the HfG of Ulm.'
- Newell, A. and Simon, H. H. A. (1972) *Human problem solving*. Prentice-Hall Englewood Cliffs, NJ. Available at: http://www.sci.brooklyn.cuny.edu/~kopec/cis718/fall_2005/2/Rafique_2_humanthinking.doc (Accessed: 8 January 2017).
- Nogueira, P. R. (2014) 'Cidades Sensíveis convertem pessoas em "sensores vivos" do espaço urbano'. Available at: <http://portal.aprendiz.uol.com.br/2014/09/02/cidades-sensiveis-convertem-pessoas-em-sensores-vivos-do-espaco-urbano/> (Accessed: 4 March 2018).
- Olmsted, F. L. (1870) 'Public parks and the enlargement of towns', *The urban design reader*, pp. 28–34.
- Orr, D. (2007) 'Preface', in Margulies, L., Corner, J., and Hawthorne, B. (eds) *Ian McHarg/Dwelling in Nature: Conversations with Students*. New York: Princeton Architectural Press, pp. 7–14.
- Oviasu, O. I. (2014) 'Using a dual kernel density estimate as a preliminary evaluation of the spatial distribution of diagnosed chronic kidney disease (CKD) in Edo State, Nigeria', *GeoJournal*, 80(5), pp. 711–720. doi: 10.1007/s10708-014-9590-6.
- Oxman, R. (2008) 'Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium', *Design Studies*, 29(100–120). doi: 10.1016/j.destud.2007.12.003.
- Oxman, R. and Oxman, R. (2014) *Theories of the Digital in Architecture*. Routledge.
- Pearlman, J. E. (2007) *Inventing American Modernism: Joseph Hudnut, Walter Gropius, and the Bauhaus Legacy at Harvard*. University of Virginia Press.
- Peddie, J. (2013) 'The history of visual magic in computers', *Springer, ISBN*. Springer, 978, pp. 1–4471.
- Perry, R. A. (2014) *Rigging the world: 3D modeling and the seduction of the real*. Massachusetts Institute of Technology.
- Piaget, J. (1972) 'The epistemology of interdisciplinary relationships', *Interdisciplinarity: Problems of teaching and research in universities*. OECD Paris, pp. 127–139.
- Piazzalunga, R. (2004) *Virtualização da Arquitetura*. Papirus Editora.
- Picon, A. (2010) 'Digital culture in architecture', *Basel, Switzerland: Birkhauser*.
- Picon, A. (2017) 'Histories of the digital Information, computer and communication', in (dir.), A. G. (ed.) *When is the digital in architecture ?* Sternberg Press, pp. 79–98. Available at: <https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-01703944>.
- Piegl, L. and Tiller, W. (2012) *The NURBS Book*. Springer.
- Plowright, P. (2014) *Revealing architectural design: methods, frameworks and tools*. Routledge.
- Protzen, J.-P. and Harris, D. J. (2010) *The universe of design: Horst Rittel's theories of design and planning*. Routledge.
- Rith, C. and Dubberly, H. (2006) 'Why Horst WJ Rittel Matters', *Design Issues*, 22(4), pp. 1–3.
- Rittel, H. W. J. (1972) 'On the Planning Crisis: Systems Analysis of the "First and Second Generations"', *Bedrifts Økonomen*, 8, pp. 390–396.
- Roberts, L. (2001) *About Dr. Roberts, © 2001*. Available at: <http://packet.cc/about.html> (Accessed: 8 January 2017).
- Roberts, L. G. (1963) *Machine perception of three-dimensional solids*. Massachusetts Institute of Technology.
- Robinson, A. H. (1967) 'The thematic maps of Charles Joseph Minard', *Imago Mundi*, 21(1), pp. 95–108. doi: 10.1080/03085696708592302.
- Rocha, A. J. J. (2004) *Architecture theory, 1960-1980: emergence of a computational perspective*. Massachusetts Institute of Technology. Available at: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/28316&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwif9Jabnb7>

- SAhWVOsAKHe4eBY0QFggeMAA&url=https%3A%2F%2Fdspace.mit.edu%2Fhandle%2F1721.1%2F28316&usg=AFQjCNFcdvwVklkABNUEvJEUxbZdiJLnVQ (Accessed: 2 February 2017).
- Rogers, D. F. (2001) *An Introduction to NURBS: With Historical Perspective*. Morgan Kaufmann Publishers (Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics and Geometric Modeling). Available at: <https://books.google.pt/books?id=DiyxPUIkV8C>.
- Ross, D. (1961) 'Computer-Aided Design: A Statement of Objectives'. Available at: <http://images.designworldonline.com.s3.amazonaws.com/CADhistory/8436-TM-5.pdf>.
- Ross, D. T. (1958) *Papers on Automatic Programming for Numerically Controlled Machine Tools*. Servomechanisms Laboratory, Department of Electrical Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Ross, D. T. and Rodriguez, J. E. (1963) 'Theoretical foundations for the computer-aided design system', in *Proceedings of the May 21-23, 1963, spring joint computer conference*, pp. 305–322.
- Ross, D. T., Ward, J. E. (1968) 'Investigations in computer-aided design for numerically controlled production'. Electronic Systems Laboratory, Electrical Engineering Dept., Massachusetts Institute of Technology.
- Rule, J. T. and Coons, S. A. (1961) *Graphics*. McGraw-Hill.
- Ryan, J. (2010) *A History of the Internet and the Digital Future*. 1st edn. Reaktion Books.
- Salomon, D. (2011) *The computer graphics manual*. Springer Science & Business Media.
- Sequeira, J. M. de (2007) 'A Concepção Arquitectónica Como Processo: o exemplo de Christopher Alexander'. Edições Universitárias Lusófonas.
- Shannon, C. E. (1948) 'A Mathematical Theory of Communication'.
- Shelden, D. R. (2002) *Digital surface representation and the constructibility of Gehry's architecture*. Massachusetts Institute of Technology.
- Silverman, B. W. (1986) *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. London: CHAPMAN & HALL/CRC.
- Simon, H. A. (1956) 'Rational choice and the structure of the environment.', *Psychological review*. American Psychological Association, 63(2), p. 129.
- Simon, H. A. (1969) *The Sciences of the Artificial*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Simon, H. A. (1979) 'Rational decision making in business organizations', *The American economic review*. JSTOR, 69(4), pp. 493–513.
- Sola Morales, I. de (1995) 'Terrain Vague', in Barron, P. and Mariani, M. (eds) *Terrain Vague: Interstices at the Edge of the Pale*. Taylor & Francis. Available at: <https://books.google.pt/books?id=1UVtAAAAQBAJ>.
- Spirn, A. W. (1985) 'Urban nature and human design: renewing the great tradition', *Journal of Planning Education and Research*. Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, 5(1), pp. 39–51.
- Spirn, A. W. (1997) 'The authority of nature: conflict and confusion in landscape architecture', *Nature and Ideology: Natural garden design in the twentieth century*. Dumbarton Oaks Research Library and Collection Washington, pp. 253–254.
- Spirn, A. W. (2000) 'Ian McHarg, landscape architecture, and environmentalism: Ideas and methods in context', *Environmentalism in landscape architecture*, 22, pp. 97–114.
- Steadman, P. (1979) *The Evolution of Designs Biological analogy in architecture and the the applied arts*. doi: 10.1130/GSATG158A.1.1.
- Steenon, M. W. (2009) 'Problems Before Patterns: A Different Look at Christopher Alexander and Pattern Languages'. Oxford University Press, (1).
- Steenon, M. W. (2014) 'Architectures of Information: Christopher Alexander, Cedric Price, and Nicholas Negroponete & MIT's Architecture Machine Group'. Princeton, NJ: Princeton University.
- Steenon, M. W. (2017) *Architectural Intelligence: How Designers and Architects Created the Digital Landscape*. MIT Press. Available at: <https://books.google.pt/books?id=x8IDDwAAQBAJ>.
- Steiner, F. (2002) 'City Limits', *Oz*, 24(1), p. 5.
- Steiner, F. R. (2012) *The Living Landscape, Second Edition: An Ecological Approach to Landscape Planning*. Island Press.
- Sutherland, I. (1962) *Sketchpad*. USA: Massachusetts Institute of Technology (MIT). Lincoln Laboratory / U-Matic.
- Sutherland, I. (1963a) *Sketchpad: a man-machine graphical communication system*. PhD thesis, MIT.
- Sutherland, I. (1963b) "Sketchpad: A man-machine graphical communication system", in. Available at: <http://www.guidebookgallery.org/articles/sketchpadamanmachinegraphicalcommunicationsystem> (Accessed: 18 January 2017).
- Sutherland, I. (1968) 'A head-mounted three dimensional display', in *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*, pp. 757–764.
- Sutherland, I. (1972a) *Display windowing by clipping*. Google Patents. Available at: <https://www.google.com/patents/US3639736> (Accessed: 8 January 2017).
- Sutherland, I. (1972b) 'Vector computing system as for use in a matrix computer'. Google Patents. Available at: <https://www.google.com/patents/US3684876>.

- Sutherland, I. (1975) 'Structure in drawings and the hidden-surface problem', in Negroponte, N. (ed.) *Reflections on Computer Aids to Design and Architecture*. New York: Petrocelli/Charter, pp. 73–85.
- Sutherland, I. (1989a) 'An Interview with Ivan Sutherland', *Communications of the ACM*. ACM, 32(6), pp. 712–714. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.86.4999&rep=rep1&type=pdf>.
- Sutherland, I. (1989b) 'Oral history interview with Ivan Sutherland'. Available at: <http://conservancy.umn.edu/handle/11299/107642>.
- Sutherland, I. (1994) *Sketchpad – A Man-Machine Graphical Information System - Bay Area Computer History Perspectives*. USA: Sun Microsystems / VHS. Available at: https://www.youtube.com/watch?v=k_cevebLO-A (Accessed: 8 January 2017).
- Swade, D. (2001) *Difference engine: Charles Babbage and the quest to build the First Computer*. Viking Penguin.
- Swaffield, S. (2002) *Theory in Landscape Architecture: A Reader*. University of Pennsylvania Press, Incorporated (Penn Studies in Landscape Architecture). Available at: <https://books.google.pt/books?id=7jxGSGbrhEUC>.
- Tedeschi, A. (2014) *AAD Algorithms-aided design: Parametric strategies using Grasshopper*. Edizioni Le Pensur.
- Tufte, E. R. (1997) *Visual Explanations: Images and Quantities, Evidence and Narrative*. Graphics Press.
- Turing, A. M. (1937) 'On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem', *Proceedings of the London mathematical society*. Wiley Online Library, 2(1), pp. 230–265.
- Uptis, A. (2008) 'Nature normative : the Design Methods Movement, 1944-1967'. Massachusetts Institute of Technology.
- Veloso, P. (2012) 'Christopher Alexander e o dilema do espaço (in) formado', in *Sigradi 2012*.
- Versprille, K. (1975) *Computer-Aided Design Applications of the Rational B-Spline Approximation Form, Electrical Engineering and Computer Science - Dissertations*. Syracuse University. Available at: http://surface.syr.edu/eecs_etd/262 (Accessed: 11 January 2017).
- Wardrip-Fruin, N. and Montfort, N. (2003) *The NewMediaReader*. Mass. (The NewMediaReader). Available at: <https://books.google.pt/books?id=DQYXoRx9CcEC>.
- Warnock, J. E. (1969) *A hidden surface algorithm for computer generated halftone pictures*.
- Weinzapfel, G. (1978) 'Mapping by yourself', in *Proceedings of the conference Interactive Techniques in Computer Aided Design, Bologna, Italy*.
- Weisberg, D. E. (2008) *The engineering design revolution: the people, companies and computer systems that changed forever the practice of engineering, Wall Street Journal*. Available at: <http://www.cadhistory.net/> (Accessed: 10 November 2017).
- Wessely, A. (2005) 'An Exile's Career from Budapest through Weimar to Chicago: László Moholy-Nagy', in *Exile, Science and Bildung*. Springer, pp. 75–100.
- Whitford, F. (1984) *Bauhaus*. London: Thames and Hudson.
- Wiener, N. (1961) *Cybernetics: or the Control and Communication in the Animal and the Machine*. 2nd Editio. MIT Press.
- Winograd, T. (1971) *Procedures as a representation for data in a computer program for understanding natural language*.
- Wyrick, B. (2002) *Interview: Bert Herzog, Association for Computing Machinery SIGGRAPH*. Available at: <https://www.siggraph.org/conferences/reports/s2002/interview/herzog.html> (Accessed: 8 January 2017).
- Zellner, P. (1999) *Hybrid space: new forms in digital architecture*. Thames & Hudson London.