

## ALÉM DA TRADIÇÃO, DA REPRESENTAÇÃO E DA VIRTUALIDADE

*Verônica Natividade*

Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo | DAU | PUC-Rio

Contato: veronica.natividade@gmail.com

*Guilherme Rizzo*

Arquiteto pelo Departamento de Arquitetura e Urbanismo | DAU | PUC-Rio

Contato: guilhermerizzo92@gmail.com

*Henrique Delarue*

Aluno do Departamento de Arquitetura e Urbanismo | DAU | PUC-Rio

Contato: hcdelelue@gmail.com

*Rafael Magioli*

Arquiteto pelo Departamento de Arquitetura e Urbanismo | DAU | PUC-Rio

Contato: rafael.magioli@yahoo.com.br

DOI: <http://dx.doi.org/10.24168/revistaprumo.v3i5.863>

## RESUMO

Desde o começo da arquitetura ocidental, fundada no classicismo grego, o arquiteto *não fez edifícios*, mas *produziu representações do edifício* que possibilitaram sua construção. Assim, a separação histórica entre o ato de pensar e o de construir arquitetura, batizada por Mario Carpo de paradigma Albertiano, estabeleceu as bases do que entendemos hoje como projeto – uma atividade informacional cujos processos passariam a ser definidos por uma gama específica de tecnologias culturais e de mídia disponíveis em cada momento histórico. Uma vez estabelecida a reciprocidade entre representação e construção, os desdobramentos desse paradigma se estendem para além das representações gráficas, intervindo também na maneira de conceituar e de produzir arquitetura. Com a virada digital a partir dos anos 1990 e mais intensamente na década de 2010, a fusão entre artefatos de representação – concepção – construção em modelos digitais impõe métodos inteiramente novos à disciplina e o Paradigma Albertiano começa a retroceder depois de cinco séculos de hegemonia. Esse artigo procura apresentar as linhas gerais de três aspectos dessa síntese digital contemporânea: o fim da compressão de dados dos desenhos bidimensionais em favor dos modelos de informação (*data models*); a ampliação da janela perspéctica para a visualização imersiva da realidade virtual; e, a construção *just-in-time*, direto dos computadores para os braços robóticos.

Palavras-chave: representação, computação gráfica, fabricação digital, realidade virtual

## ABSTRACT

Since the beginning of Western architecture, founded on Greek classicism, the architect did not make buildings, but representations of the building that would made possible its construction. Thus, the historical separation between the act of thinking and the act of building architecture, named by Mario Carpo “the Albertian paradigm”, established the basis of what we understand today as architectural project design – an informational activity in which processes would be defined by a specific range of cultural technologies and media available in each historical moment. Once the reciprocity between representation and construction is established, the unfolding of this paradigm extends beyond the graphic representations, also intervening in the way of conceptualizing and producing architecture. With the digital turnaround from the 1990s and more intensely during the 2010 decade, the merger between representational - design - construction artifacts into digital models imposes entirely new methods on discipline and the Albertian Paradigm begins to fade after five centuries of hegemony. This article tries to present the general lines of three aspects of this contemporary digital synthesis: the end of the data compression of the two-dimensional drawings in favor of the data models; the expansion of the perspicacious window into the immersive visualization of virtual reality; and, “just-in-time”, direct construction from computers to robotic arms.

Key words: representation, computer graphics, digital fabrication, virtual reality

## Introdução

“Arquitetos não fazem edifícios; arquitetos fazem desenhos de edifícios”. Com essa frase, Mario Carpo, um dos mais importantes teóricos da arquitetura da atualidade, inicia seu raciocínio sobre os possíveis cenários futuros da profissão no mundo pós-digital, em sua palestra proferida em janeiro de 2018 na famosa escola londrina *Architectural School*. A afirmação de Carpo não é original. Para falar sobre a relação entre o desenho e a arquitetura, não só Carpo, como também diversos autores (HEWITT, 1985; EVANS, 1997; PÉREZ-GÓMEZ & PELLETIER, 2000) se apoiaram no mesmo princípio estabelecido por Alberti: “o desenho do arquiteto é o ato original da criação e o edifício físico construído a partir dele é apenas uma cópia, desprovida de qualquer acréscimo de valor intelectual” (CARPO, 2013).

O trabalho do arquiteto contemporâneo começa, então, com a projeção de imagens mentais, criando intenções de como uma arquitetura pode ser conformada (HEWITT, 1985). Nessa concepção da arquitetura fundada no Renascimento — e que vigora até hoje — a palavra **imagem** “implica em imitação (*mimesis*), pensamento, e concepção” (PÉREZ-GÓMEZ, 1982) e **ideia**, segundo seu sentido etimológico, na “aparência” e na “forma” (PÉREZ-GÓMEZ, 1982). Sendo assim, a imagem é considerada a própria ideia do projeto, algo partindo do que é visível no imaginário e que é “copiado” como ilustração. O desenho, por sua vez, é a ilustração das imagens mentais idealizadas, ou seja, do próprio pensamento da arquitetura (HEWITT, 1985). Nessa modalidade de pensamento, o desenho é fortemente associado à própria noção de arquitetura: “mais do que portadora de uma ideia, é a própria ideia, o próprio pensamento” (CUNHA, 2017). E o ato de desenhar, cujo valor passou a ser tão crucial para os arquitetos que, “incapazes de pensar sem

desenhar se tornou a verdadeira marca da profissão” (SOMOL, 1999).

Embora palavras como ‘figura’ e ‘desenho’ sugiram uma imagem feita artesanalmente, isto é, ‘à mão’, no fim dos anos 2010 esses termos parecem anacrônicos e imprecisos se aplicados à maioria das imagens arquitetônicas contemporâneas, ainda que as mídias empregadas sejam o mouse e um sistema digital que emule o desenho à mão (GARCIA, 2013). A produção de imagens arquitetônicas na atualidade já não se limita a um tipo específico, como diagramas, textos, fotografias, filmes, modelos digitais ou pinturas. Também não se refere apenas a uma única mídia<sup>1</sup>, técnica ou suporte específico para sua elaboração. Imbuído por novas tecnologias e técnicas, meios e materiais inovadores, cada aspecto do mundo gráfico na arquitetura está em processo de transformação e reedição. Apesar desse movimento rumo à digitalização, mesmo para alguns entusiastas do digital, como o *ex-Archigram* Peter Cook (2014), o desenho à mão nunca deixará de existir. Para outros, como o arquiteto e pesquisador Mark Garcia (2013), no futuro mediado tecnologicamente, os arquitetos desenharão sem as mãos. Nas palavras de Garcia (2013), “as mudanças tecnológicas na era da reprodução *cyber-bio-info-nano* têm problematizado, borrado e expandido definições e ideias sobre desenhos, imagens e até mesmo mídia, exigindo que a linguagem arquitetônica seja redefinida em resposta”. Simultaneamente, há um entusiasmo renovado pelo espontâneo e o sentido da mão por trás da imagem, levando a novas experimentações que hibridizam o gestual do desenho com a visualização instantânea em ambientes imersivos digitais (BEAUDRY MARCHAND, 2018).

### 1.

Mídia é “uma ferramenta ou uma combinação de ferramentas que são usadas para criar representações gráficas.” ATAMAN, 2000

O que essa revigoração do meio gráfico significa para a arquitetura? Por que os arquitetos ainda desenhavam, mesmo na era das mídias eletrônicas? Qual é a relevância de se discutir a representação hoje? Em última instância, qual é o objeto de representação na arquitetura contemporânea? As perguntas não têm resposta unânime, nem na academia, nem na prática arquitetônica. Para alguns, o desenho à mão, 'puro', tradicional e histórico, não é mais fundamental para o projeto de uma arquitetura significativa, inovadora ou inteligente (GARCIA, 2013; SCHUMACHER, 2017). Desde os anos 1990, as limitações do desenho à mão têm sido fortemente explicitadas por arquitetos pioneiros do mundo digital, como Marcos Novak, Greg Lynn, John Frazer, Peter Eisenman e tantos outros. No fim dos anos 2010, ficou evidente que há aspectos irreconciliáveis entre modelos digitais e desenho à mão. Simular e otimizar aspectos construtivos em modelos de informação (*data models*), fazer uma máquina executar uma rotina de fabricação diretamente de um arquivo e observar um projeto a partir do corpo imerso no espaço são possibilidades que o desenho à mão jamais ofertará. Para outros, o desenho tradicional não é só o mais inteligente e interessante como também ainda é a maneira mais eficaz de traduzir e comunicar para o mundo externo o conteúdo da imaginação dos arquitetos (PALLASMAA, 2009; GRAVES, 2012). Desenhar, afinal, é pensar e especular visualmente e desenho e representação continuam sendo a base da educação de qualquer estudante de arquitetura (SPILLER, 2013).

Em uma pesquisa lançada na plataforma *Archdaily* em 2015, os usuários foram questionados sobre a relevância do desenho à mão para a arquitetura 'hoje' – meados da década de 2010, na época do lançamento da pesquisa.<sup>2</sup> Conforme o esperado, foram apontados ótimos argumentos em defesa da

mão, do computador ou do hibridismo entre as duas ou mais mídias. O mais interessante, contudo, foi a origem na discussão: o artigo do então estudante de arquitetura, Enzo Tessitone<sup>3</sup>, sobre sua experiência como intercambista na FAU/ USP. No texto, Tessitone exprime seu desapontamento ao ter sido reprimido por ter escolhido o software *Revit* como mídia para representar o seu projeto, a despeito da qualidade da arquitetura e até da representação. O estudante conclui seu artigo de forma dura, questionando o verdadeiro papel do desenho na prática dos arquitetos contemporâneos, cujo envolvimento e até conhecimento sobre os aspectos produtivos dos desenhos digitais tende a ser limitado. De forma irônica, disse o estudante, são esses mesmos arquitetos que exigem de seus aspirantes conhecimentos de softwares de modelagem, renderização e tratamento de imagens.

O depoimento de Tessitone é interessante porque revela um pensamento comum entre arquitetos: o entendimento de representação como tarefa mecânica, desprovida de tecnologia e de inteligência, e frequentemente confundida com **apresentação de projeto**, o estágio final da imagem arquitetônica, utilizada para fins comunicacionais (CARPO, 2013). Geralmente, essa percepção vem acompanhada da valorização exclusiva da metodologia tradicional de concepção, organizada em torno do desenho, em detrimento de qualquer outro artefato

2.

Rory Stott. "What Is The Role Of Hand Drawing In Today's Architecture?" 20 Apr 2015. ArchDaily. Accessed 23 Dec 2018. <<https://www.archdaily.com/621572/what-is-the-role-of-hand-drawing-in-today-s-architecture/>> ISSN 0719-8884

3.

Enzo Tessitore. "Hand vs. Computer Drawing: A Student's Opinion" 11 Apr 2015. ArchDaily. Accessed 23 Dec 2018. <<https://www.archdaily.com/618124/hand-vs-computer-drawing-a-student-s-opinion/>> ISSN 0719-8884



ou mídia de criação. Na verdade, a noção de projetar a arquitetura por meio do desenho foi uma ideia incrivelmente revolucionária, revestida de tecnologia e perfeitamente justificada na época de seu invento... na Renascença (CARPO, 2011). Será que nada mudou em 500 anos? Em 1975, muito antes da popularização das interfaces gráficas, do *Grasshopper*, do *Revit*, dos óculos de realidade virtual, dos *smartphones* dotados de aplicativos de realidade aumentada, William Mitchell já havia declarado que o nível menos ambicioso do uso dos computadores é alocar a ele apenas tarefas de produção de imagens. Mais de quarenta anos de avanço tecnológico se passaram desde a afirmação de Mitchell. Algumas hipóteses mais radicais para a manutenção do privilégio do desenho tradicional são “por força do hábito” (CARPO, 2017) ou “por fetiche” (GARCIA, 2013).

“Se a ideia da superioridade do bidimensional sobre tridimensional, tão arraigada na cultura ocidental, ainda persiste é por uma única razão: os velhos hábitos são difíceis de morrer” (CARPO, 2017).

“(…) Qualquer teoria de projeto arquitetônico que exija o tradicional e histórico desenho à mão é uma reificação fetichista e privilégio de um método de desenho e imagem (...) sobre o outro. Não há nada de errado com este método tradicional e histórico de produção de desenhos ou imagens arquitetônicas, (...), novas tecnologias podem aprimorar e adicionar inteligência, animar e até mesmo revitalizar métodos senescentes de produção de desenhos e imagens. No entanto, o desenho ou imagem

feito à mão (independentemente dos materiais utilizados para sua confecção) já não são necessariamente o método mais adequado para produzir desenhos ou imagens ou mesmo para projetar a arquitetura.” GARCIA, 2013

### Verbal – Visual – Verbal

As representações de arquitetura podem ser consideradas fatos culturais, mas que, no entanto, são intimamente relacionadas à tecnologia e à própria visão de mundo (NATIVIDADE, 2010). Esses artefatos – desde instruções verbalizadas no terreno, desenhos de plantas e elevações ou maquetes – e suas relações com os edifícios produzidos não foi constante ao longo da história. Na verdade, se houvesse uma história do projeto e da representação, sua estrutura seria diferente da história da arquitetura (BARKI, 2000). Ao longo da história, o projeto como representação e a arquitetura propriamente dita seguiram caminhos distintos, talvez paralelos, “como dois fatos culturais que têm influências mútuas” (BARKI, 2000).

Se hoje a arquitetura é “a arte do desenho” (CARPO, 2013b), nem sempre foi assim. Até a Renascença, ser arquiteto significava também ser construtor. O arquiteto era responsável não só pela concepção espacial do edifício, como também era profundamente envolvido na sua construção, atuando diretamente no canteiro. Portanto, até o meio do século XV, o conhecimento das técnicas construtivas estava implícito na produção da arquitetura; inventar a forma do edifício implicava na invenção do seu meio de construção e vice-versa. A informação contida na forma era a informação da construção – uma implicava na outra (KOLAREVIC, 2003).

A edificação não dependia da confecção de desenhos elaborados nem do emprego de ferramentas



Oesterreichische Nationalbibliothek, Vienna

Crônicas de Girart de Roussillon, construção de uma igreja em Saint-Denis (1450). Biblioteca de Viena.

sofisticadas. Papel e tinta eram artigos relativamente raros na época (PEDMONT-PALLADINO *ed.*, 2007). Os desenhos executivos como conhecemos hoje não eram comuns e a noção de escala, fundamento básico da representação, era praticamente desconhecida (PEREZ-GOMEZ & PELLETIER, 2000). Os únicos desenhos verdadeiramente indispensáveis na construção eram os gabaritos<sup>4</sup>, que serviam como modelos para assegurar a uniformidade da modulação e repetição das peças de cantaria. Esses desenhos eram considerados o segredo dos edifícios, portanto, eram guardados contra cópias (PEREZ-GOMEZ & PELLETIER, 2000).

4.

No original, *template drawings* (Perez-Gomez & Pelletier, 2000)

A construção era baseada em regras clássicas de proporção, sistemas de ordens e ornamentos, além de princípios geométricos que pudessem ser marcados diretamente no chão em tamanho real onde as paredes seriam alçadas. O método mais simples de traçar um ângulo reto sobre o solo era utilizar a proporção conhecida do triângulo 3-4-5. Os módulos dos edifícios eram formados com múltiplos, submúltiplos e combinações desse triângulo. Enquanto a edificação era erguida, os detalhes de fachada eram discutidos praticamente até o momento de sua construção. As instruções eram passadas verbalmente ou por escrito e dessa maneira a tradição construtiva atravessava as gerações. Quando necessário, os arquitetos produziam maquetes, geralmente de madeira, para ajudar seus patrocinadores a compreender a obra (PEREZ-GOMEZ & PELLETIER, 2000).

A maneira de conceber a arquitetura diretamente sobre o canteiro começou a ser modificada durante a Renascença (CARPO, 2011). Por volta de meados do século XV, Leon Battista Alberti, foi o primeiro a afirmar que a arquitetura é antes de mais nada uma ideia. Concebida na mente de seu autor, descrita por meio de notações, para então ser construída manualmente por trabalhadores, que, por sua vez, deveriam cumprir as instruções recebidas em desenhos e modelos, e segui-las sem alterações (CARPO, 2013). Dali em diante, caberia ao arquiteto se ocupar em **desenhar** seus edifícios e não mais participar de suas construções como agente direto. Com isso, Alberti diferenciou arquitetos e artistas de mestres construtores e artesãos.

À separação entre o ato de desenhar e o ato de construir foi atribuído o termo “**paradigma Albertiano**” (CARPO *in* VIDLER, 2008), compilado na famosa frase de Boullée “antes de conceber o objeto arquitetônico, o arquiteto deve ter uma imagem do



Detalhe da fachada da Igreja Orsanmichele, Nanni di Banco (1415), Florença.

projeto” (FEFERMAN, 1997). Era na construção dessa imagem, por meio de desenhos, que se deveria erigir a essência artística. Esses desenhos, de teor técnico e científico, deveriam exprimir a ideia do edifício de modo claro e sem ambiguidades, para que outros personagens pudessem executá-lo (PEREZ-GOMEZ & PELLETIER, 2000). Mas desenhos, ao contrário de edifícios, são bidimensionais e na maioria dos casos, proporcionalmente menores que o objeto a ser construído. Seria necessário, então, criar um sistema notacional que determinasse a maneira universal de traduzir desenhos em edifícios (EVANS, 1997). Isso significou a introdução de uma técnica inteiramente nova: a **representação da arquitetura** (CARPO *in* VIDLER, 2008).

A base instrumental da representação e do processo de criação tradicional da arquitetura, que vigora na maior parte da produção até hoje, foi consolidada ao longo dos séculos seguintes pelo desenvolvimento dos “**desenhos projetivos**” (PEREZ-GOMEZ & PELLETIER, 2000). São constituídos pela série de projeções convencionais de planos constituintes do objeto arquitetônico, representados por desenhos bidimensionais de plantas, cortes e fachadas. Essas projeções são representadas em várias escalas, da urbana aos detalhes dos pormenores arquitetônicos que, juntas, formam a ideia completa do edifício (NATIVIDADE, 2010). Assim, com a tarefa de

**projetar**, da geometria, **lançar as projeções sobre o papel**, nascia o que entendemos hoje como **projeto** (CARPO, 2013a). Ao longo do tempo, foram desenvolvidas as normas e regras de representação, constituindo o vocabulário próprio do desenho técnico.

Dentro desse recorte moderno e contemporâneo, a arquitetura passou a ser entendida como o ato de pensar o espaço e antecipar a construção. Esse ato é expressado pela representação gráfica, que contém as informações necessárias para a obra. O edifício é, portanto, o resultado da transcrição entre o ato de pensar o espaço – ou seja, a arquitetura – e a construção desse espaço (CARPO, 2017; PEREZ-GOMEZ & PELLETIER, 2000). O edifício é considerado arquitetura quando é a cópia idêntica de seu desenho (CARPO, 2017). Quando Bernard Tschumi (1994) diz: “arquitetura não existe sem desenhos, da mesma maneira que a arquitetura não existe sem textos. Edifícios têm sido erguidos sem desenhos, mas a arquitetura em si vai além do mero processo de construção”, é um eco desse raciocínio.

A tarefa de representar objetos no lugar de construí-los diretamente também levou à “**virtualização** da arquitetura” (DOLLENS, 2002), uma vez que o trabalho do arquiteto passou ser o de representar algo que não existe. Nesse sentido, a noção de ‘real’ passou a ser relativizada e altamente subor-



Fonte: Tchoban Foundation - Museu do Desenho Arquitetônico, Berlim



Giacomo Quarenghi (1744–1817) Projeto para a Capela Maltesa em São Petersburgo.

dinada ao meio de expressão das ideias, seja a lápis no papel, com maquetes ou na tela do computador. O espaço em si tornou-se objeto de representação artística, tornando o desenho o instrumento principal de expressão do arquiteto. O “desenho que já é projeto” (ARGAN, 2006), que, no entanto, “não é nem o espaço propriamente dito e nem a arquitetura” (LACOMBE, 2006). A arquitetura passou, portanto, a depender da capacidade de representar o espaço de maneira eficaz, que por sua vez passou a depender de meios e ferramentas disponíveis (NATIVIDADE, 2010). Em última instância, o desenho é o meio para transferir a ideia vinda de sua concepção mental — chamada por Robbins (1994) de “mundo conceitual e virtual” — até sua construção física, “real.”

Com a virada digital a partir dos anos 1990, o termo ‘virtual’ deixa de ser uma oposição ao ‘real’, para se contrapor ao ‘atual’ (LÉVY, 2003). Um modelo digital é ‘atualizado’ a cada instante e a construção é uma instância do objeto. A fusão entre artefatos de representação – concepção – construção em modelos digitais impõe métodos inteiramente novos à disciplina e o Paradigma Albertiano começa a retroceder depois de cinco séculos de hegemonia. Esse artigo procura apresentar as linhas gerais de três as-

pectos dessa síntese digital contemporânea: o fim da compressão de dados dos desenhos bidimensionais em favor dos modelos de informação (*data models*); a ampliação da janela perspéctica para a visualização imersiva da realidade virtual; e, a construção em tempo real, direto dos computadores para os braços robóticos.

### Fim da Compressão de Dados

A tradição de projeção planimétrica na arquitetura persistiu incontestada até a popularização das interfaces gráficas digitais em fins dos anos 1980, porque permitiu, de modo muito eficaz, a compreensão do espaço tridimensional em duas dimensões (EISENMAN, 2006). Tanto a perspectiva quanto os desenhos técnicos se consolidaram como ferramentas extremamente eficazes para converter grandes distâncias no espaço em notações mensuráveis no papel (CARPO, 2017). Essa descoberta tecnológica extraordinária possibilitou a **compressão de dados**: uma vez compiladas no papel, as informações poderiam ser facilmente transportadas até o local da construção, onde seriam usadas (CARPO, 2017). Graças a essa faculdade, o sistema notacional dos desenhos projetivos em geral foi amplamente utilizado para múltiplos propósitos, e em diversos campos disciplinares, desde sua invenção até hoje (CARPO, 2017).

No entanto, ao se tornar bidimensional, o objeto arquitetônico sofreu duas reduções: a primeira em função da redução em escala e a segunda pela desagregação das informações completas do edifício (VIRILIO, 2005). Isso significa que o edifício é representado em partes e não no todo (VIRÍLIO, 2005) e que a representação é seletiva. Num processo de projeto convencional, geralmente são elencadas quais informações serão representadas e quais podem ser deduzidas ou mesmo suprimidas. Em





Fonte: Wikimedia Commons

Ivan Sutherland, criador do Sketchpad. C. 1960

vista disso, a ambição intelectual e a correspondente suposição de que um edifício possa ser inteira e exclusivamente construído a partir de notações ainda é tão problemática na teoria quanto impossível na prática (CARPO, 2017). No método convencional, nunca haverá desenhos suficientes para representar plenamente todos os detalhes da arquitetura, diz Evans (1997). Sempre haverá um “ponto cego entre o desenho e seu objeto” (EVANS, 1997). Afinal, o desenho sempre será “inibido por técnica, inibido por imperícia ou inibido pela ideia imaginada não ter precedente real no imaginário familiar” (COOK, 2014). Nesse sentido, o momento da tradução de desenhos em edifícios é marcado por um certo grau de incerteza (EVANS, 1997).

Com o desenvolvimento gráfico e processual dos computadores, a visualização do projeto migrou massivamente para a tela do computador. Mas o fato de as pranchetas terem cedido lugar às Workstations não significou a modificação concreta e substancial na prática projetual para a maior parte dos arquitetos. As aplicações convencionais dos sistemas CAD, como o popular AutoCAD, operam com elementos sem nenhum valor semântico agregado (AISH in KOLAREVIC, 2003). Os primeiros formatos de arquivo de desenho, como o DWG no início dos anos 80, tentaram reproduzir a estrutura do desenho tra-

dicional à mão. Correspondem às operações de desenho tradicionais como linhas, arcos e círculos da mesma maneira que o matemático Ivan Sutherland, criador da primeira interface gráfica digital, já havia demonstrado no seu *Sketchpad* em 1963. Isso foi refletido nas interfaces de usuário que combinavam as convenções e a terminologia de desenhos tradicionais, tais como camadas, espessuras de linha e assim por diante (MICHALATO, 2016). Esse conjunto padronizado de desenhos arquitetônicos era considerado uma documentação suficiente para a descrição e a produção de um edifício (MICHALATO, 2016). Por essa razão, as ferramentas digitais foram chamadas no popular de **prancheta eletrônica**.

Em meados da década de 1990, surgiu uma nova geração de representações digitais para a arquitetura. A evolução dos sistemas CAD para CAAD e mais recentemente para AAD<sup>5</sup> que começaram a romper com essa narrativa e provocar mudanças significativas na arquitetura e suas formas de representação. Com essa “virada digital” (CARPO, 2012), a alteração do suporte de representação do desenho bidimensional para os *softwares* de modelagem 3D baseados em *splines* foi essencial para a visualização, elaboração e construção de formas arquitetônicas extremamente complexas. Modeladores de *spline* são aqueles “instrumentos mágicos” (CARPO, 2017), agora incorporados na maioria dos softwares para computação gráfica e design assistido por computador, que podem desenhar tridimensionalmente curvas de forma livre (*freeform curves*) de qualquer tipo, em qualquer lugar do espaço digital, e traduzir cada nuvem aleatória de pontos, cada rabisco ou cada traço incerto de um lápis, em linhas com curvatura perfeitamente contínua.

5.

CAD - Computer Aided Design; CAAD - Computer Aided Architectural Design; AAD - Algorithmic aided Design.

O Guggenheim de Bilbao do arquiteto Frank Gehry, projetado de 1991 a 1994 e inaugurado em 1997, foi saudado como um ícone global do novo estilo arquitetônico gerado digitalmente, por meio de softwares de geração de curvas *spline*. Contudo, um edifício significativo da era digital não é qualquer edifício que foi projetado e construído usando ferramentas digitais: é aquele que não poderia ter sido nem projetado nem construído sem elas. Por isso, apesar de o método de Gehry ser reconhecidamente fundamentado em desenhos manuais, sem a confecção de modelos digitais para a construção, esse símbolo divisor de águas na nova maneira de representar a arquitetura não teria passado das belas aquarelas que foram enviadas para o concurso (LINDSAY, 2001). Segundo um dos sócios de Gehry, Jim Glymph (LINDSEY, 2001), nesse projeto, o modelo digital foi a referência básica para a construção do edifício, apesar de o projeto ter sido executado em grande parte por métodos convencionais. Desenhos tradicionais de plantas, cortes e fachadas foram feitos para cumprir protocolos legais de documentação junto à Prefeitura de Bilbao. Esses desenhos foram extraídos automaticamente do modelo digital.

A partir daí, estava estabelecida uma das muitas facetas do ‘efeito Bilbao’: a proliferação do uso de computadores na arquitetura. Assim, a adoção dessas novas ferramentas de modelagem tornou a linguagem da geometria analítica e diferencial, necessária para representar numericamente componentes de construção, uma parte do vocabulário das práticas de arquitetura mais avançadas, substituindo a linguagem de geometria descritiva e projetiva depois de cinco séculos de hegemonia. Arquitetos adeptos dessa prática começaram a adotar termos como ‘curvatura Gaussiana’ e ‘normais da superfície’, para descrever os aspectos geométricos de seus

Fonte: E. Goergen aka en:User:YisiGrad - wikimedia Commons

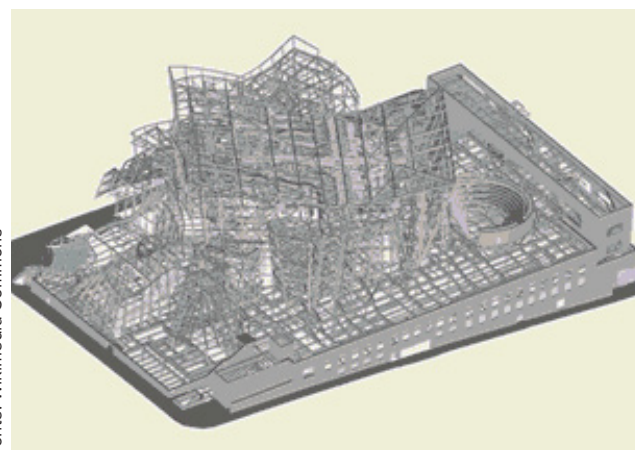


Museu Guggenheim de Bilbao - Frank Gehry 1991 - 1994

projetos. Mesmo arquitetos antes nunca expostos à codificação e à programação, ou que nunca tiveram interesse nesses temas, se viram expostos às lógicas de representações numéricas e desenvolvimento de *software*. Depois de séculos desde a sua invenção, a representação, agora digital, voltava à condição de protagonista nas práticas mais avançadas da arquitetura.



Ao estabelecer as bases da representação na arquitetura, o paradigma Albertiano provocou múltiplas e profundas mudanças no desenvolvimento da arquitetura das eras moderna e contemporânea. Da mesma maneira, as mudanças na dimensão do suporte de representação ainda são muito recentes, mas os desdobramentos são incontáveis e difíceis de antecipar. No fim dos anos 2010, é possível observar duas tendências de uso dos modelos digitais, ambas fortemente ancoradas nas especificidades da ferramenta de modelagem escolhida: primeira são os modelos baseados em relações geométricas, como é o caso dos sistemas BIM; e a segunda são os modelos fundamentados em notações matemáticas, como é o caso das chamadas arquiteturas algorítmicas. Nestas últimas, no lugar de modelar a geometria tridimensionalmente ou desenhá-la por meio de suas projeções, os arquitetos descrevem matematicamente a lógica interna da forma, por meio de funções, e determinam os valores de entrada dessas funções, que podem ser aspectos contextuais ou funcionais. O computador, então, executa o algoritmo e a forma arquitetônica emerge desse processo. Apesar das inúmeras possibilidades oferecidas pela transição da

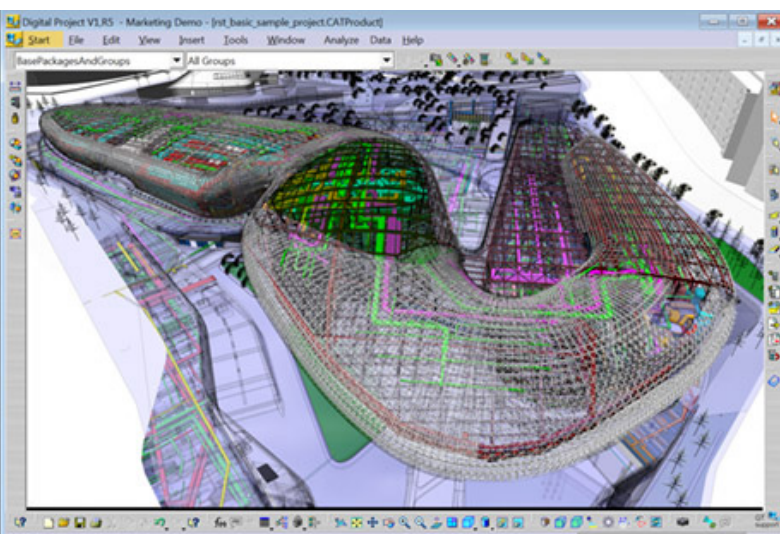


Fonte: Wikimedia Commons

Projeto modelado usando o software CAD / CAM do Digital Project

notação geométrica para a notação matemática, as arquiteturas algorítmicas permanecem muito mais vinculadas ao campo especulativo e experimental. Muito embora se constituam como as práticas mais avançadas de arquitetura e objeto de inúmeras pesquisas em escolas de arquitetura de ponta, quando utilizado na prática, esse método completamente novo de representar e pensar a arquitetura muitas vezes não ultrapassa a pele do edifício (RATTI, 2016). Ainda.

Em contraste, a adoção de sistemas BIM em escritórios de arquitetura tem sido cada vez mais comum. Embora tenha se tornado popular entre estudantes por meio do software *Revit*, da Autodesk, por conta da facilidade de extrair cortes e fachadas automaticamente que esse programa oferece, o termo BIM não diz respeito a uma ferramenta, mas sim a um sistema de representação que converge em um único modelo digital todas as informações necessárias para a construção de um edifício, desde aspectos da forma arquitetônica e instalações prediais até orçamento e faseamento da obra. Portanto, o acrônimo BIM pode ser traduzido tanto como *Building Information Modeling* quanto *Building Information Management*.



Fonte: www.digitaproject3d.com acessado em: 18/11/2018

Interface do freeware DP Designer - Digital Project.



A técnica de representação por modelos BIM vai além dos desenhos CAD tradicionais porque funcionam por regras associativas dotadas de conteúdo semântico. Isso significa que o *software* reconhece elementos arquitetônicos, como paredes, portas e janelas. Além de associar esses elementos geometricamente – por exemplo, uma janela sempre pertence a uma parede – também é possível vincular informações a esses elementos, como quantidade, fornecedor, custo, fase de instalação na obra, etc. Esses elementos também podem ser parametrizados, isto é, os parâmetros de altura e largura de uma família de janela, por exemplo, podem ser alterados diretamente no elemento janela e não no modelo geométrico propriamente dito. Uma vez alterada a janela, todos os elementos pertencentes à mesma família, assim como as paredes às quais eles pertencem tem os vãos atualizados, assim como todas as informações associadas, como número de tijolos, volume de argamassa para o emboço, área de pintura e o custo correlacionado. Desse modo, quando acontece uma alteração no modelo, todas as visualizações gráficas (plantas, elevações, fachadas, detalhes e outros desenhos de construção), bem como as visualizações não gráficas, como listagem de fornecedores e cronogramas, refletem automaticamente a mudança. Por esta razão, os modelos BIM também são chamados de “modelos inteligentes” (KYMMEL, 2007). No lugar de produzir uma série de desenhos, os projetistas passaram a confeccionar um modelo abrangente, cujo princípio é a junção de componentes para formar uma montagem de objetos rígidos articulados (MICHALATOS, 2016).

Seja por meio de softwares de modelagem de *splines*, como o *Rhinoceros* ou de sistemas BIM, como o *Digital Project*, a inclusão da terceira dimensão associada à capacidade de atribuir valor semântico ao suporte de representação por meio de modelos de informação preencheu diversas lacunas

deixadas pela representação bidimensional (GARBBER, 2009). A primeira delas diz respeito às alterações do nível de abstração da representação em arquitetura. Toda representação é uma abstração, mas no domínio das tecnologias digitais, a noção tradicional de abstração é totalmente dissipada. Nos modelos de informação, é possível representar objetos arquitetônicos de modo ‘*não projetivo*’, ou seja, por meio da representação de objetos inteiros, onde todas as relações entre as partes do edifício podem ser visualizadas de maneira holística. Os modelos de informação construídos com essa finalidade são representações literais do objeto arquitetônico; não são artefatos interpretativos como desenhos de cortes, plantas e fachadas sugerem. Portanto, agregam informações sobre o projeto de determinada maneira que as representações projetivas tradicionais não poderiam.

Em paralelo, a compressão de informações e, portanto, a supressão de informações, antes essenciais para garantir a comunicação, já não é mais necessária. Ao contrário, a inclusão de informações no modelo é cada vez maior e a representação de dados antes impossíveis de serem representados à mão, hoje servem como auxiliares na tomada de decisão no projeto. Um modelo tridimensional pode conter informações detalhadas do objeto arquitetônico, do comportamento dos materiais e até do ambiente onde será construído. As ferramentas digitais de hoje usam a matemática para emular, gerenciar e dominar a complexidade inerente à arquitetura, não para eliminá-la: “a computação é agora tão poderosa e barata que não é mais necessário simplificar a realidade para modelá-la; é cada vez mais possível lidar com o desregramento do mundo como ele é” (CARPO, 2017). Portanto, a compressão de dados é dada pela capacidade de processamento do computador e não mais pelo suporte de representação.

Além disso, a definição tradicional de representação arquitetônica exclui qualquer noção de relatividade entre tempo e espaço, ou seja, uma imagem estática é uma imagem imóvel, temporalmente fixa. Já nos modelos digitais de informação, como seu suporte é dinâmico, os dispositivos de representação arquitetônica, permanecendo como partes inerentes e integrantes do processo de concepção, alteraram a sua base ontológica, deixando de ser documentos estáticos em duas dimensões para se constituírem como entidades tridimensionais com potencial de inclusão da dimensão temporal (NATIVIDADE, 2010). Pode-se dizer, então, que esses modelos não só agregam mais informação, como também estabelecem a fluência entre essas informações durante o processo de projeto. Depois de cinco séculos, os arquitetos finalmente se veriam livres das limitações notacionais da arquitetura.

Com a “segunda virada digital” (CARPO, 2017), a partir dos anos 2000, o estilo curvilíneo dominado por *splines* passou a ser associada a uma certa “exuberância irracional dos anos 1990” (CARPO, 2017) e a experimentação formal deixou de ser o ponto focal do uso de modelos de informação na arquitetura. Arquitetos de todo o globo começaram se ocupar em encontrar dados significantes para alimentar os modelos digitais, abrindo diversos novos leques de pesquisa. Palavras como simulação, otimização e determinismo passaram a circular intensamente nos centros de investigação em arquiteturas digitais. Para esses pesquisadores, a arquitetura não deveria mais se parecer com algo, mas ter um determinado comportamento. Na esteira desse movimento, a noção de “arquitetura baseada em desempenho” (HENSEL, 2013) tomou grande impulso, seja ele estrutural (OXMAN, 2010), ambiental (HENSEL, 2013), ou material (MENGES, 2015; OXMAN, 2016).

Um dos arquitetos pesquisadores pioneiros na investigação dos processos de design computacional com base em métodos de otimização de modelos é Achim Menges, professor da Universidade de Stuttgart. Inspirado pelo método de *form-finding* de Frei Otto, Menges foi o primeiro a implementar digitalmente e a traduzir em termos computacionais o processo de design heurístico. Diferentemente dos desenhos produzidos no AutoCAD, esse tipo de modelo digital permite coletar, registrar e processar enormes quantidades de dados, além da retenção e recuperação de informações, ou seja, a catalogação de soluções e formação de uma coleção de precedentes.

A cada dois anos, o núcleo de pesquisa de Menges produz um pavilhão de pesquisa, inteiramente formulado com o uso de modelos de informação. Por meio de simulações e iterações, o modelo digital gera diversas variações de estruturas muito semelhantes, que devem atender a certas condições impostas pelo designer. O grupo escolhe entre os exemplares que atenderam aos critérios estabelecidos. Esse método é muito distante de como um engenheiro moderno projetaria uma estrutura, baseado na tentativa e erro a partir de uma formulação prévia. Até os *softwares* convencionalmente utilizados por engenheiros para otimização estrutural seguem essencialmente o mesmo procedimento (MENGES, 2015). Essa é uma das razões pelas quais nenhum engenheiro moderno poderia ter projetado nenhum dos pavilhões construídos pelo time de Menges.

Nos modelos de informação de Menges, os dados sobre as propriedades do material que será empregado na construção, bem como os modelos matemáticos que regem seu comportamento são computados pelo software e são consideradas no momento da elaboração do objeto arquitetônico. Funcionalmente, os modelos de Menges equivalem ao uso de *Big*

*Data* (MENGES, 2015), termo originalmente se refere à capacidade de coletar, armazenar e processar quantidades crescentes de dados a custos decrescentes. No exemplo de Menges, “o poder do *Big Data* aplicado à recuperação de informação, à simulação e à otimização faz com que a compressão de dados em fórmulas como o cerne da engenharia estrutural moderna seja tão obsoleta quanto as *Páginas Amarelas*” (CARPO, 2017).

“Artesãos dos tempos pré-industriais não eram engenheiros; portanto, eles não usavam a matemática para prever o comportamento da estrutura a ser construída. O método básico era a tentativa e erro, construindo e quebrando modelos de teste até encontrar a solução adequada. Já nos modelos digitais contemporâneos, é possível realizar milhares de simulações iterativas. O usuário pode interpretar os dados e escolher a melhor solução ou utilizar um *software* capaz de decidir qual é a melhor solução dentro dos critérios estabelecidos pelo usuário.” (MENGES, 2015)

### A Janela e o Todo

Embora a perspectiva seja frequentemente associada ao Renascimento, Erwin Panofsky (1999) demonstrou sua existência desde a Antiguidade. A perspectiva, cuja raiz latina significa ‘**ver através de**’ foi postulada como ‘**janela**’ por Alberti em seu tratado *Da Pintura*. A normatização das técnicas da perspectiva conferiu nova relação com a maneira de *ver* o mundo, resultando em outro tipo de imagem, diferente das representações em planta que os mapas cartográficos forneciam (VIRILIO, 2005). Assim, a representação do espaço em perspectiva criou um instrumento mediador entre sujeito e realidade

inteiramente novo: “uma fração do espaço é capturada pela janela perspetiva e representada no plano através da sobreposição de diagonais às coordenadas cartesianas para ordenar objetos e posicioná-los estaticamente, congelados no tempo” (NATIVIDADE, 2010). Assim, o espaço passou a ser descrito cientificamente no campo da abstração matemática. Esse novo método de representá-lo era revestido em tecnologia.

Graças à dominação das tecnologias ópticas e mecânicas, seguidas das tecnologias digitais para a criação de imagens perspectivadas, sejam elas estáticas ou dinâmicas, a perspectiva permaneceu não só como o paradigma dominante de nossa cultura visual, mas como um marco da cultura arquitetônica ocidental até muito recentemente (CARPO, 2017). Conforme visto na seção anterior, hoje, finalmente, o desaparecimento das imagens projetadas pode estar acontecendo: “não por proclamação, mas por pura obsolescência tecnológica” (CARPO, 2017).

A representação em arquitetura se encontra em fase de transição comparável à invenção da perspectiva e das imagens fotográficas (CARPO, 2017). De fato, estes são os principais, embora não os únicos tipos de imagens projetadas que estão sendo desativadas pela ascensão das tecnologias digitais. A confecção de desenhos por projeções paralelas está cada vez mais perdendo espaço para a modelagem 3D digital. Se toda representação projetiva é uma redução (de escala, de proporções, conteúdo...), A natureza do espaço digital é o suporte perfeito para a representação holística, em contraponto com o sistema representacional estático da perspectiva (VIRILIO, 2005). Na primeira, é possível ver tudo ao mesmo tempo, sem implicar na perda ocasionada pela redução em escala, fato que não ocorre no segundo. Dessa forma, o computador emerge como mídia alternativa para a representação no espaço di-



gital, ao contrário do espaço analógico de natureza matemática absoluta: “toda representação é uma redução (...), mas aqui a redução é recusada, a recepção coletiva simultânea é a de um olho ubiqüitário capaz de ver tudo ao mesmo tempo...” (VIRILIO, 2005). Assim, o paradigma da visão/representação do mundo é posto em discussão pela primeira vez desde o Renascimento.

Hoje, a ‘janela’ de visualização da arquitetura não precisa mais ser o enquadramento da câmera do modelo digital e muito menos o retângulo do papel. Ao abandonar as limitações da ‘janela’ bidimensional da geometria clássica, o olho panóptico do computador permite ver de maneira diferente. Se antes a arquitetura foi engessada pela sua representação, já que esta era fortemente limitada pelos entraves do próprio olho humano (EISENMAN, 2006), com a popularização das tecnologias de realidade virtual, é possível ir ainda mais adiante. Modelos tridimensionais podem ser visualizados por projeções axonométricas, ou paralelas, além de serem navegáveis e escaláveis à vontade. Mas ao ser associada a interfaces de realidade virtual (RV) e de realidade aumentada (RA), a visualização em arquitetura toma uma dimensão completamente nova: a imersão e interação do corpo na arquitetura virtual.

O termo “Realidade Virtual” – do inglês, *Virtual Reality (VR)* – designa o que é vivenciado, sentido e/ou experimentado a partir de situações imateriais. Em termos gerais, pode ser compreendido como a representação da realidade, via mídias digitais, onde há interação entre o mundo alternativo – ou imaterial – e o usuário, por meio da imersão do corpo em um espaço virtual. De acordo com o pesquisador Ruy Espinheira Neto:

“A realidade virtual envolve um controle tridimensional altamente interativo de processos computacionais. A pessoa

entra no espaço virtual das aplicações e visualiza, manipula e explora os dados da aplicação em tempo real, usando seus sentidos, particularmente os movimentos naturais tridimensionais do corpo” (ESPINHEIRA NETO, 2004).

Na transmissão de informações via mídias tradicionais de desenho, mensagem e receptor são entidades impenetráveis, não havendo contato e/ou interferência relativa à presença do corpo na arquitetura representada. No âmbito da Realidade Virtual, a noção de presença está fortemente relacionada ao corpo humano, como parte indissociável da visualização da mensagem (SHERMAN e CRAIG, 2003). Um interfere no outro: o que é visualizado depende da posição do corpo – desse modo, o espaço corresponde às ações do usuário. Esse conjunto de respostas torna o sistema **responsivo** e está correlatado ao envolvimento da pessoa com o ambiente, ou seja, ao modo como ela interage com os objetos, personagens e demais elementos presentes no espaço virtual. Denominado “ficção interativa” por Sherman e Craig (2003), esse duo ação-reação presente na imersão configura uma capacidade de compreensão e intervenção espacial.

Em termos gerais, a diferença entre realidade virtual e realidade aumentada ocorre no modo de experimentação do espaço. A ideia acerca da realidade virtual consiste na utilização de um dispositivo que, de certa maneira, induz o cérebro a romper relações com ambiente físico e transmite a sensação de que o usuário foi direcionado para um espaço distinto. O lançamento do *Oculus Rift*, em 2012, resultou em certa popularização do termo, embora nem sempre utilizado de maneira correta. Em 2014, a *Google* lançou o *Google Cardboard*, com intuito de tornar essa tecnologia mais acessível e, em 2015, a consolidação do termo se concretizou com o lança-

mento do *Samsung Gear*. Ambos os dispositivos são dependentes da tecnologia de um *smartphone* para funcionar, diferentemente do *Oculus Rift*, que precisa de sensores e da conexão a um software de RV no computador.

A realidade aumentada, do inglês *augmented reality* (AR), parte do princípio da sobreposição do virtual ao real. Em 2013, o *Google Glass* tornou essa tecnologia acessível ao público em geral. Consiste no uso de um dispositivo mais leve que os disponíveis para RV, no qual a lente apresenta informações digitais ao passo que o usuário mantém a visualização do ambiente concreto. O conceito se popularizou em 2016 com o aplicativo *Pokémon Go*, onde os *pokémons* virtuais eram sobrepostos ao ambiente real através do *smartphone* do jogador. As aplicações da realidade aumentada para arquitetura são diversas e, assim como a RV, seu potencial ainda não é totalmente conhecido. Além da possibilidade de inserir um modelo tridimensional arquitetônico no contexto urbano, por exemplo, também tem sido usada no campo do patrimônio histórico.

Em práticas mais avançadas, a RA tem sido empregada como meio de interação entre arquitetos e modelos tridimensionais. O *Microsoft Kinect*, lançado em 2010, é um dispositivo dotado de sensor de movimento, disponibilizado como um *plug-in* para *videogames* que permite aos jogadores interagir com um *videogame* através do movimento e voz. Na arquitetura, a associação de dispositivos como *Kinect* ou sistemas montados com sensores em placas *Arduino* podem ser vinculados a modelos digitais paramétricos, permitindo a interação e a interferência entre aspectos do mundo físico, captado pelos dispositivos, e a arquitetura. O núcleo de pesquisa *Interactive Architecture*, da escola londrina *The Bartlett School of Architecture* é um dos muitos centros de



Alunos da PUC-Rio experimentando a visualização de seus projetos com Oculus Rift.

Fonte: imagem cedida pela autora

pesquisa que tem realizado diversos experimentos nesse campo disciplinar em expansão.

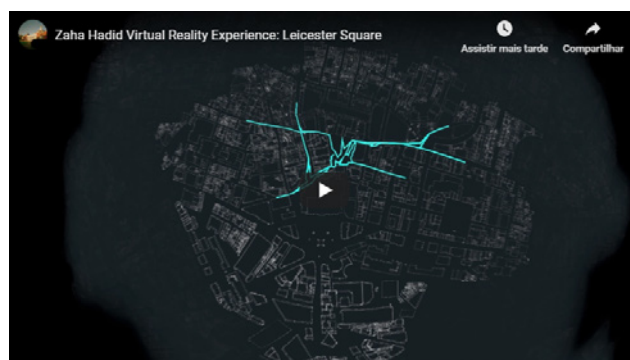
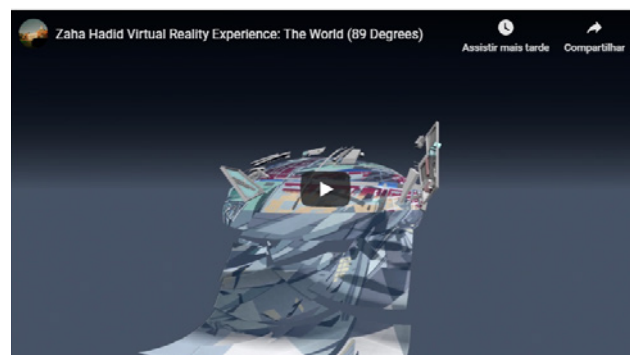
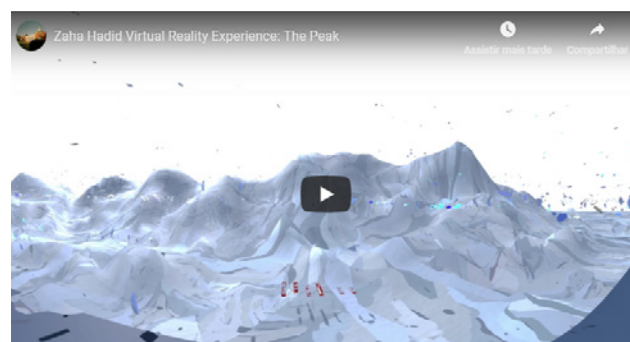
Embora os primeiros experimentos com realidade virtual terem sido documentados em 1976 no MIT *Media Lab*, fundado por Nicholas Negroponte, é possível apontar a indústria do entretenimento como uma das responsáveis em instigar o retorno do interesse pelas pesquisas em interação e imersão, a partir da segunda metade dos anos 2000 (CUNHA, 2017). Apesar de ser uma tecnologia extremamente atraente, as pesquisas acerca das contribuições da RV para arquitetura ainda não são expressivas. Essa tecnologia também não é muito comum em ateliês de projeto. No entanto, alguns dos maiores

escritórios de arquitetura do mundo já têm realizado experimentações com esses dispositivos. É o caso do escritório *Zaha Hadid Architects*, que possui um departamento exclusivo para investigações em RV do escritório, o *ZH VR Group*, liderado por Helmut Kinzle. Em 2017, o escritório propôs um experimento em RV como parte da exposição em homenagem à arquiteta, o *Zaha Hadid: Early Paintings and Drawings*, no pavilhão *Serpentine Sackler Gallery* em Londres. O experimento, realizado em parceria com o *Google Arts and Culture*, propunha a imersão em quatro obras de arte abstrata do início da carreira de Hadid. Os visitantes se deparavam com uma produção digital imersiva, onde as pinturas planas e estáticas da arquiteta tornavam-se ‘vivas’, com animações dentro do ambiente 360°. Ao lado de cada pintura exposta na galeria, um capacete *HTC Vive* guiava os visitantes ao espaço virtual, onde eram apresentados aos elementos compositivos da imagem. As animações receberam os nomes das obras: *The Peak*, *The Great Utopia*, *The World* e *Leicester Square* <sup>6</sup>. Em entrevista concedida à revista eletrônica *Dezeen* em 2017, Zinkle disse: “as pinturas foram o meio de escolha de Zaha para romper com as ferramentas ‘tradicionais’ de arquitetura e introduzir uma visão radical e inovadora, desafiando o discurso corrente. A RV é a plataforma digital recíproca de hoje em que queremos mostrar - e nos conectar a - essas ideias por trás ou por dentro das pinturas”.

Ao que convém à disciplina da Arquitetura, embora o arquiteto seja treinado para lidar com desenhos planimétricos e perspectivas 3D no computador, a presença do corpo no espaço por meio da RV

Acessível em:

<https://www.dezeen.com/2017/02/01/virtual-reality-zaha-hadid-architects-google-serpentine-sackler-gallery-london-uk/>



Telas iniciais de Animações em RV sobre pinturas de Zaha Hadid; do topo para baixo: *The Peak*, *The Great Utopia*, *The World* e *Leicester Square*



é uma representação espacial incomparavelmente mais eficiente do que os desenhos convencionais bidimensionais. Além disso, seu uso como método de apresentação de projetos permite maior autonomia do cliente quanto à escolha do direcionamento do olhar, até então restrito ao enquadramento estático da perspectiva, estrategicamente escolhido pelo arquiteto. Essa liberdade de movimentação e experimentação do corpo no espaço pode auxiliar o público não treinado no entendimento espacial do projeto. Afinal, não podemos esquecer que os desenhos arquitetônicos, especialmente aqueles de cunho mais técnico, surgiram com o propósito de comunicação entre arquitetos e construtores. Portanto, não cabe ao cliente a exigência de compreensão de uma linguagem que o profissional só domina porque foi alfabetizado nela.

O estudo apresentado por Gunita Kulikovska no *TED Talk* na Letônia (2016)<sup>7</sup> apontou que, além de uma ferramenta de apresentação de projeto, a RV também é uma ferramenta eficiente para “educar as pessoas a pensar de maneira tridimensional”. A pesquisadora e CEO da *Vividly*, desenvolvedora de softwares de realidade virtual aplicados à Arquitetura, Urbanismo e Engenharia Civil, percebeu que há uma clara tendência de pessoas não especializadas compreenderem melhor o projeto arquitetônico quando utilizados óculos de realidade virtual na sua comunicação, fato que evita mudanças de projeto posteriores ao início da construção. Mais especificamente para os arquitetos, a RV pode ser usufruída como dispositivo de auxílio à concepção da ideia, desde que associados a modelos tridimensionais.

Para além da comunicação, plataformas híbridas de imersão e visualização, como o *Hype-3D*, permi-

tem criar esboços tridimensionais e visualizá-los em tempo real em um modelo 3D. Nesse tipo de plataforma, o designer desenha sobre um *tablet* rastreado em três dimensões e três eixos de rotação. Esse tipo de interface permite a emulação do gesto de desenho, gerando os esboços em 3D em tempo real, e permite navegar usando uma combinação de gestos simples de mão, corpo e orientação do *tablet*. No caso do *Hype3D*, dispositivos como luvas ou óculos para visualizar e interagir com o ambiente virtual são dispensados. Na verdade, a plataforma combina aspectos de RV e RA, uma vez que é possível a interação entre ambiente virtual, ambiente físico e outros usuários.

### Construindo em tempo real: *Real time making*

Outra consequência do nascimento da representação gráfica que queremos abordar foi o estabelecimento da reciprocidade entre as capacidades de desenhar e de construir a arquitetura. A dependência entre artefato de representação e idoneidade da construção foi resumida brilhantemente na famosa frase de William Mitchell: “o homem constrói o que consegue desenhar e desenha o que consegue construir” (*in* KOLAREVIC, 2003). *Desenho* para os arquitetos passou a significar não só a capacidade de fazer a arquitetura ser comunicada, como visto nas seções anteriores, mas também a possibilidade de tornar físico um pensamento (COOK, 2014).

O designer moderno, como conhecemos hoje, surge, então, da transição do mestre gótico para o arquiteto renascentista, elevado pela disjunção entre o processo intelectual de design e o ato físico do fazer. Acelerado pelos avanços centrados na geometria e na perspectiva, essa separação teve um profundo impacto na disciplina, dando origem a um conceito de projeto baseado na primazia da notação geométrica, independentemente se o objeto seja desenha-

7.

Acessível em: <https://www.ted.com/tedx/events/19210>

Disponível em <http://factual.univ-lorraine.fr/node/2183>.  
Acessado em 02 Nov 2018.



Estudantes interagindo e desenhando no ambiente imersivo do *Hyve-3D*.

do, modelado ou gerado por computador, e que ainda é predominante até hoje (MENGES, 2015). Uma implicação crucial desta abordagem acerca do papel da materialização na arquitetura é que o fluxo da informação – desde a concepção até a execução – é tipicamente percebida como linear e unidirecional (MENGES, 2015). Fabricação e construção são entendidos como a execução de um conjunto de instruções bem definidas e abrangentes, expressas através de planos e seções baseadas na geometria projetiva, ou, mais recentemente, encapsuladas como Código G (*G code*) para fabricação assistida por computador (CAM).

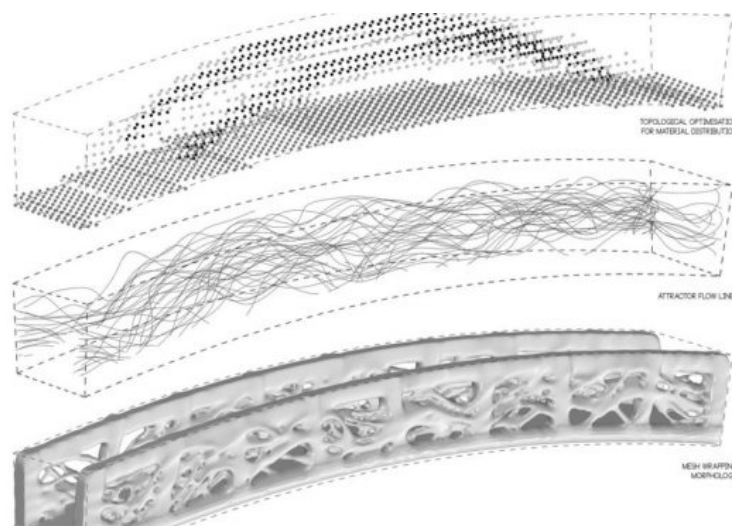
Até a emergência das arquiteturas digitais, a nossa disciplina sempre foi lenta na incorporação de novas tecnologias. Em um dos livros mais influentes da arquitetura ocidental, *De Architectura*, Vitruvius descreveu um método construtivo já obsoleto na época em que foi escrito, ainda no início do Império Romano (CARPO, 2017). Ao longo dos séculos e com poucas exceções, o classicismo moderno continuou a ignorar as inovações tecnológicas na construção. No decurso do Século XIX, enquanto a Revolução Industrial imprimia profundas mudanças sociais e nas cadeias produtivas, inclusive da construção

civil, a maior parte dos arquitetos usava os novos materiais industrializados para imitar as formas e os estilos arquitetônicos progressos (CARPO, 2017).

Foram os precursores da arquitetura moderna com seu grito de alerta que iniciaram a transformação desse quadro, quando Le Corbusier e outros pioneiros começaram a reivindicar que, se a mecanização estava mudando o mundo, os arquitetos também deveriam se lançar a esse desafio. “Olhem como são feitos os carros, os aviões, os navios a vapor”, disse Le Corbusier (2002) em seu famoso manifesto dos anos 1920: “diferente dos arquitetos, eles sabem como lidar com a tecnologia atual de fabricação em massa e como explorar o potencial da linha de montagem. Nós devemos seguir sua liderança”, ele concluiu, “e imitar seu exemplo”.

No rastro dessa linha de pensamento, as várias tentativas de industrializar a atividade de construção ao longo do Século XX estavam intimamente relacionadas à grande narrativa sobre a necessidade de adaptar a arquitetura à idade da máquina (PICON, 2014). Inspirados por esse discurso e pelas novas possibilidades tecnológicas, àquela altura já

Fonte: Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña - IAAC



Primeira ponte pedonal impressa em 3D (2016) criada pelo Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña - IAAC para o Parque de Castilla-La Mancha em Alcobendas, Madri

retardatários tecnológicos, os arquitetos se viram diante do desafio de inventar novas formas, “feitas sob medidas para as novas ferramentas de produção mecânica em massa” (CARPO, 2011) e urbanistas deveriam inventar novas formas urbanas, “feitas sob medida para as novas ferramentas de transporte em massa” (CARPO, 2011). Estranhamente, até os dias de hoje, a maior parte dos arquitetos e urbanistas tem seguido fielmente essa receita, ignorando ou negando a tecnologia e as máquinas de produção atuais, que não são mais aquelas que Le Corbusier e demais vanguardistas celebraram e sublimaram há quase um século atrás (CARPO, 2017).

É importante lembrar, contudo, que o taylorismo e o fordismo não foram inventados por arquitetos. Eles só seguiram seus exemplos, muitas vezes de maneira controversa, dolorosa e até malsucedida (CARPO, 2017). Ao contrário dos automóveis, dos aviões e das máquinas de lavar, casas, em sua maioria, não são construídas por meio de produção em massa de objetos idênticos. Embora muitos pesquisadores estejam ocupados com a tentativa de imprimir casas inteiras com o auxílio de braços robóticos, tecnicamente até hoje essa ambição ainda não é uma realidade em larga escala, embora em termos tecnológicos, seja possível chegar lá. Na verdade, produção em massa de objetos arquitetônicos idênticos nunca foi uma boa ideia, como se pode comprovar com os conjuntos do Minha Casa Minha Vida. Ao contrário, para a maior parte dos arquitetos, a arquitetura é “um objeto de arte único, feita sob medida e sob encomenda, como um terno costurado e ajustado especialmente para quem vai vesti-lo” (CARPO, 2017).

Da mesma maneira, não foram os arquitetos que inventaram o design e a fabricação digitais. Essas tecnologias sequer foram inventadas com foco no usufruto dos arquitetos. Estimam-se que as primei-

ras máquinas de fabricação por controle numérico (por computador), popularmente chamadas pelo acrônimo inglês CNC (*Computer Numerical Control*), surgiram por volta dos anos 1940 ou 1950 para a indústria bélica americana; o primeiro software CAD foi criado por um matemático para a indústria mecânica no início dos anos 1960, apesar de sua popularização só ter acontecido 20 anos mais tarde, com o lançamento do AutoCAD em 1982; e, os conceitos de customização em massa já eram discutidos por economistas e tecnólogos desde o final dos anos 1980 (CARPO, 2017). Não foi à toa que Gehry foi buscar nas indústrias naval, automotiva e aeronáutica a solução para seus complexos edifícios no início da década de 1990.

Na contramão dessa tendência histórica, “na ocasião da virada digital, nos anos 1990, foram os arquitetos – não todos, mas os melhores – os primeiros a adotar as ferramentas digitais e incorporar as mudanças digitais antes que qualquer outro negócio, indústria ou profissão criativa” (CARPO, 2017). Esses pioneiros digitais viram nas novas tecnologias a possibilidade de produzir variações, customizadas e não standardizadas, “uma ambição profundamente enraizada em arquitetos e designers, artesãos e engenheiros de todos os tempos e lugares” (CARPO, 2017). Mais além, partiu da primeira geração de “arquitetos digitalmente inteligentes” (CARPO, 2017) uma ideia simples, mas drástica, que iria revolucionar a profissão: “as ferramentas digitais de design e fabricação não deveriam ser usadas para emular a produção mecânica em massa, mas sim para extrapolar as limitações da linha de montagem” (CARPO, 2017). Em teoria, a fabricação digital não requer matrizes mecânicas, nem moldes, fôrmas ou prensas, portanto, não é necessário fazer muitas cópias para amortizar o custo de produção. Dependendo do tipo de fabricação e material es-



colhidos, cada peça pode fabricada uma única vez, sem incremento no preço. Enquanto o paradigma moderno foi marcado pela repetição em massa das cópias idênticas, a fabricação digital inaugurou a era da customização em massa (CARPO, 2017) e mais recentemente, em *dêutero-customização*.<sup>8</sup>

“A customização digital em massa é uma das ideias mais importantes já inventadas pelas profissões de design: uma ideia que vai mudar e, até certo ponto, já mudou, a maneira como projetamos, produzimos e consumimos quase tudo, e uma que subverte – e em certa medida já subverteu – os fundamentos técnicos e culturais de nossa civilização. E, para melhor ou para pior, a customização digital em massa foi *nossa* ideia: ela foi desenvolvida, aprimorada, testada e conceituada em algumas escolas de arquitetura na Europa e nos Estados Unidos nos anos 1990. Até hoje, designers e arquitetos são os melhores especialistas nisso: designers e arquitetos - não tecnólogos ou engenheiros, não sociólogos ou filósofos, não economistas ou banqueiros, e certamente não são políticos, que ainda não sabem o que está acontecendo.” (CARPO, 2017)

No que concerne a representação gráfica, “na primeira era da máquina”, como Banham apeli-

8.

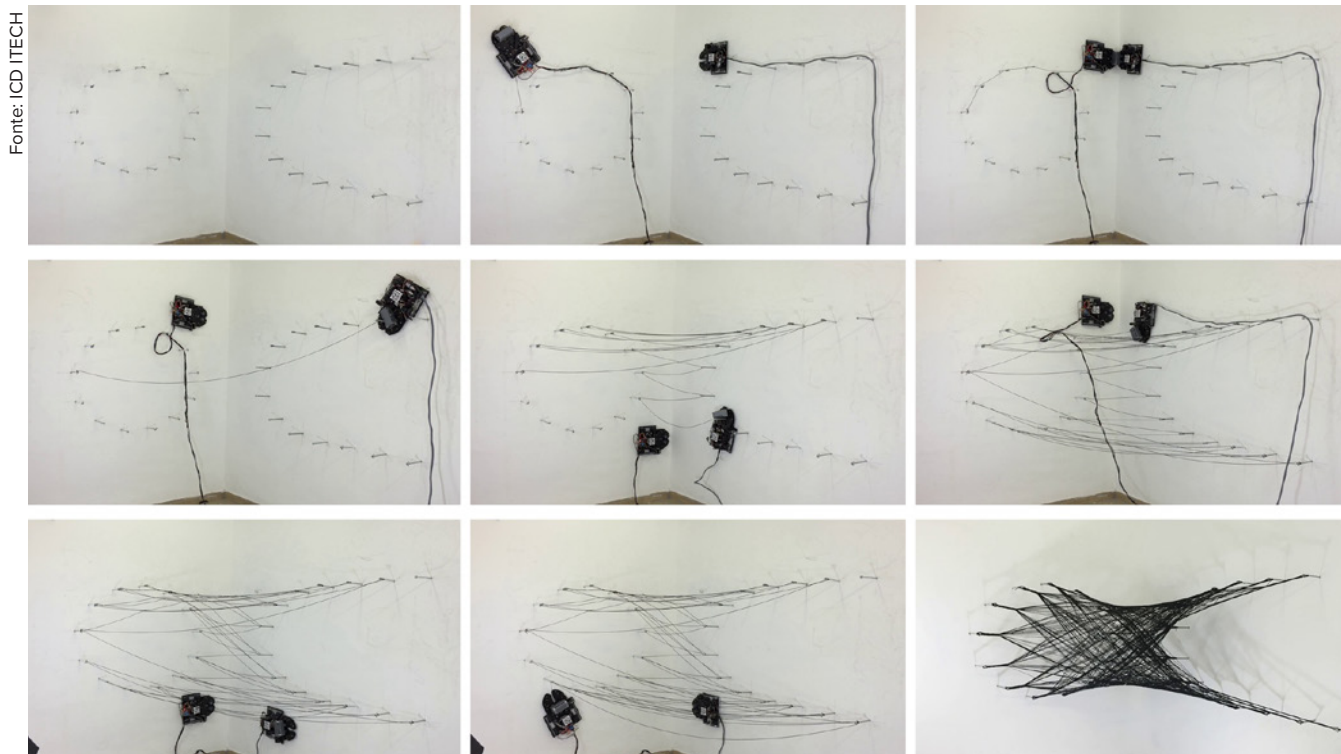
---

O termo *dêutero-customização* foi discutido na plenária final do congresso RobARCH 2018, em Zurique, como uma das cinco tendências na construção robótica em arquitetura. O termo vem do Grego *deuteros* e significa 'segundo' ou 'secundário'. Foi empregado na ocasião para designar uma espécie de repetição não seriada.

dou, tanto a fabricação dos objetos em si quanto a natureza das instruções de fabricação, ou seja, os desenhos de representação, eram entidades totalmente separadas, mediadas por um manipulador de instrumentos de desenho e um manejador de equipamentos de fabricação mecânica. No âmbito da fabricação digital com máquinas CNC, a relação entre objeto, representação e fabricação é unificada e até indistinta. A representação do objeto é um arquivo digital enviado diretamente para a máquina que vai fabricá-lo, sendo, portanto, diversa do método tradicional de transmitir as instruções para o construtor, que, nesse caso, é uma máquina. Isso significa que o objeto precisa ser codificado de outra maneira, uma vez que plantas ou cortes, por exemplo, são documentos irrelevantes para a máquina – qualquer uma delas, digitais ou não. É, necessário, portanto, modelar o objeto digitalmente em três dimensões e decodificá-lo em instruções matemáticas para que a máquina possa interpretá-lo. O desenho tradicional, historicamente entendido como instrumento essencial para a construção, é substituído por um *G code*.

O modelo digital que liga projeto à construção, portanto, é a condição básica para a execução das arquiteturas digitais (KOLAREVIC, 2003), por meio do sistema batizado de “*file-to-factory*” (Franken in Kolarevic, 2003). Nesse sistema, os arquivos digitais com os elementos constituintes do objeto são descarregados diretamente em máquinas CNC que produzem os componentes da construção. Desde o processo conceitual até os documentos básicos para a execução, nada precisa ser apresentado em papel. Em outras palavras, a mídia pode ser totalmente digital, não envolvendo o papel em nenhuma etapa. Essa técnica originalmente desenvolvida pela *Boeing* para a indústria aeronáutica também ficou conhecida como “*paperless design building process*” (BARKI,

21



Projeto *Mobile Robotic Fabrication System for Filament Structures*, desenvolvido por maria Yabloina no centro ICD-ITECH, Universidade de Stuttgart - 2018. Os robôs semi-autônomos escalam e se movimentam pelas paredes distribuindo e trocando entre si filamentos de carbono.

2000). A técnica, que significou a  **fusão entre processos de projeto – representação – construção**, permite maior domínio do arquiteto em todo o processo produtivo e sua reaproximação com o caniteiro depois de 500 anos de separação, na condição que Kolarevic (2003) apelidou de “*digital master builder*” (construtor máster digital).

Na esteira desse movimento, a figura do construtor não é mais necessariamente um ser humano. As primeiras máquinas CNC a entrar para os laboratórios de arquitetura foram as máquinas de corte plano, como cortadora a laser e *router* de três eixos, sendo essa última capaz de fabricar objetos tridimensionais com limitação de altura, por método subtrativo. Assim, as primeiras experimentações arquitetônicas no início dos anos 2000 eram, em sua maioria, baseadas na composição de formas tridimensionais por meio de objetos planos, como a

confeção de maquetes tradicionais. Mais tarde, o aprimoramento das impressoras 3D e, especialmente, o barateio dos braços robóticos aumentou significativamente a capacidade de fabricação de objetos arquitetônicos. De tal modo que, na plenária final do evento *Robots in Architecture* de 2018, os mais importantes pesquisadores em fabricação robótica na arquitetura no mundo atualizaram a frase de Mitchell para: ‘o homem fabrica digitalmente o que consegue modelar e modela o que consegue fabricar digitalmente’.

Atualmente, os centros mais avançados de pesquisa em processos digitais na arquitetura, como os núcleos de Gramazio e Kholer no ETH Zurich, de Achim Menges, na Universidade de Stuttgart ou de Neri Oxman, no MIT, tem centrado suas pesquisas em fabricação robótica para explorar novas maneiras de construir e novas possibilidades arquitetônicas.

Enquanto uns estão mais preocupados em desenvolver novos robôs (YABLONINA, 2018; KAYSER *et al.*, 2018) outros têm se dedicado a desenvolver novas aplicações ou adaptações para robôs comerciais existentes (WOOD *et al.*, 2018). Em todos os casos, tanto a fusão entre representação arquitetônica e construção são evidentes, como também outros personagens do paradigma Albertiano começam a sair de cena. O construtor pode ser um braço robótico (GRAMAZIO & KHOLER, 2014; MENGES, 2015) um *drone* (WOOD *et al.*, 2018) ou um robô tecelão (YABLONINA, 2018; KAYSER *et al.*, 2018). “O que estamos observando hoje é a digitalização abrangente da arquitetura, o que implica uma mudança radical de paradigma em suas condições de produção” (GRAMAZIO & KHOLER, 2014). A noção de “*file-to-factory*” abre espaço para os primeiros experimentos da construção *em tempo real*, onde braços robóticos atuam diretamente no local da construção.

Nesse contexto, o desenho como o gesto fundamental a partir do qual a arquitetura surge perde o significado. Nas pesquisas de Achim Menges e Neri Oxman, por exemplo, inspiradas pelos princípios de *form-finding* de autores como Heinz Isler e Buckminster Fuller, é o comportamento do material que rege o princípio gerador da forma arquitetônica. Esse método batizado de “*material based design*”, ou design baseado no material (OXMAN, 2010), reverte a ordem do processo tradicional de concepção arquitetônica – forma, estrutura, (escolha de) material – para “material, estrutura, forma” (OXMAN, 2010). O **novo estruturalismo** integra concepção estrutural, tectônica digital, materialização, produção e a pesquisa que torna toda essa integração possível” (OXMAN, 2010). A pesquisa à qual Oxman se refere parte do “entendimento da função do material do design, da habilidade de

Fonte: <https://icd.uni-stuttgart.de> acessado em 12/11/2018



Pavilhão de Pesquisa do ICD-ITKE 2013-14 / ICD-ITKE  
Universidade de Stuttgart - 2014

Fonte: <https://icd.uni-stuttgart.de> acessado em 12/11/2018



Estrutura modular cujos componentes são constantemente relocados por um drone conforme a posição solar e a sombra se alteram. Projeto desenvolvido por estudantes de mestrado do ICD-ITKE 2018 / ICD-ITKE Universidade de Stuttgart - 2018



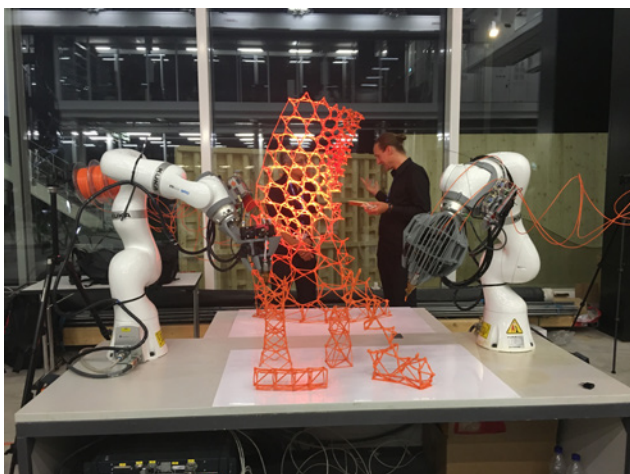
projetar com o material e da técnica de manipular representações da estrutura do material por meio da tectônica digital”, ou seja, é uma técnica que depende intimamente do suporte de representação.

Da mesma maneira, o arquiteto criador do ‘traço genial’ como único autor da arquitetura é posto em xeque, seja em concepções mais radicais, onde o computador também é considerado autor do projeto (KOSTAS, 2006; EISENMAN, 2003) ou para dar lugar a equipes multidisciplinares colaborativas (MENGENS, 2015; CARPO, 2017). Na conjuntura digital, não há ‘solitários’. Ao contrário, há “um espírito empreendedor que favorece a cooperação sobre a autoria, no sentido de capacitar a si e aos outros” (GRAMAZIO & KOHLER, 2014). De qualquer modo, a noção do “desenho como força motriz da arquitetura”, como colocado por Peter Cook (2014), está gradualmente cedendo lugar a outras forças geradoras. Por outro lado, a capacidade de representar algo para ser construído nunca foi tão desafiadora.

“Robôs industriais se distinguem pela sua versatilidade. Como os computadores, eles são adequados para uma ampla variedade de tarefas porque são ‘genéricos’ e, portanto, não são adaptados a nenhum aplicativo em particular. Em vez de restringir suas operações a uma faixa prescrita de aplicações, a ‘destreza manual’ dos robôs pode ser livremente projetada e programada. Suas habilidades de manipulação material podem ser personalizadas para atender a uma intenção construtiva específica, tanto no nível material quanto conceitual. É precisamente esta qualidade - desencadeando uma gama de liberdade anteriormente inimaginável na interação

entre a máquina e o objeto – que distingue a aplicabilidade operacional dos robôs industriais de todas as outras formas de fabricação digital especializada. Para explorar esse potencial, que expande maciçamente o conceito de projeto arquitetônico, é necessário não apenas uma compreensão técnica das capacidades de construção do robô, mas também uma compreensão profunda dos materiais a serem processados” (GRAMAZIO & KOHLER, 2014).

Para os pesquisadores Gramazio e Kohler (2014), diretores do centro de pesquisa em fabricação robótica na arquitetura em ETH Zürich, durante a última década, a fabricação robótica na arquitetura obteve sucesso exatamente onde a arquitetura digital falhou anteriormente: “na síntese da lógica imaterial dos computadores e da realidade material da arquitetura, onde a reciprocidade direta entre design digital e produção arquitetônica em larga escala é permitida”. Com os robôs, agora é possível enriquecer radicalmente a natureza física da arquitetura, ‘informar’ os processos materiais e amalgamar o design computacional e a realização construtiva como uma característica marcante da arquitetura na era digital, levando ao surgimento de um fenômeno que esses pesquisadores definiram como “materialidade digital”. Como consequência, “estabeleceu-se uma base tecnológica uniforme para a arquitetura, que desde o início da industrialização da construção civil no início do Século XX foi mais visão do que realidade. Nós não estamos mais testemunhando a modernização tardia de uma indústria, mas sim uma partida histórica: a moderna divisão entre trabalho intelectual e produção manual, entre projeto e realização, está se tornando obsoleta” (GRAMAZIO & KOHLER, 2014).



Fonte: imagem cedida pela autora

Robôs imprimindo estrutura em filamento de plástico.



Fonte: Wikimedia Commons

Um processo similar, muito mais avançado, foi utilizado para construir diretamente no canteiro a armação metálica da parede ondulada. Um sensor na ponta do braço robótico avaliava a posição espacial de cada nó e compensava na malha possíveis desvios.

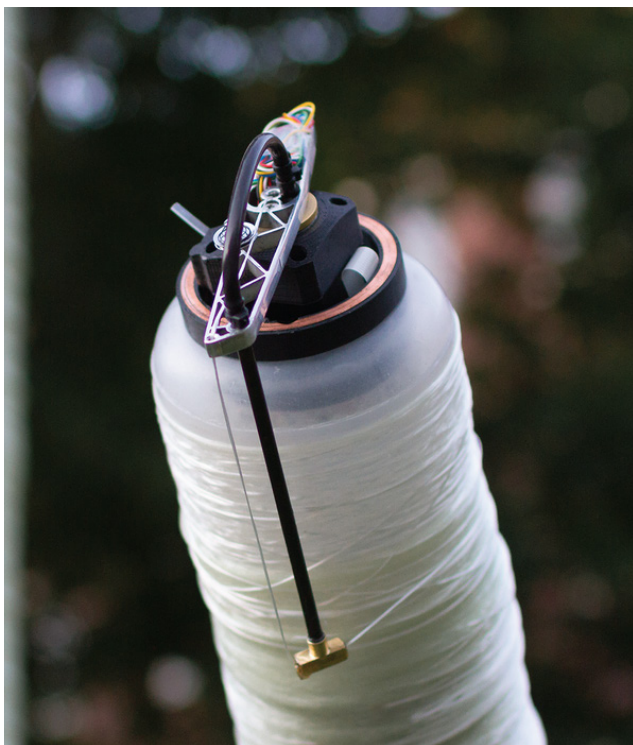


Fonte: imagem cedida pela autora

Vista interna da obra acabada

Em seu texto intitulado “*Robots and Architecture: Experiments, Fiction, Epistemology*” para o volume especial dedicado à fabricação robótica, “*Made by Robots*”, da revista de arquitetura contemporânea *Architectural Design*, Antoine Picon (2014) defendeu que a fabricação robótica tem grandes chances de produzir efeitos sobre o ambiente construído tão ou mais duradouros do que aqueles acarretados pela industrialização do Século XX. Na realidade, o autor aponta que, diante da “nova revolução industrial” (ANDERSON, 2012) provocada pelo “movimento *maker*” (ANDERSON, 2012), esse quadro torna-se ainda mais provável, uma vez que a era digital é marcada pela multiplicação da ‘auto realização’, isto é, pela autonomia do arquiteto em produzir efetivamente suas criações, ou pelo menos parte delas. No entanto, o impacto das experiências recentes em fabricação robótica na arquitetura pode se estender para além do aprimoramento de materiais e de técnicas inovadoras (PICON, 2014). Assim como a industrialização modernista influenciou os fundamentos da disciplina de arquitetura de maneira espetacular, “redefinindo tanto sobre o que se trata o desenho do projeto quanto sobre os efeitos e afetos que ele deve produzir” (PICON, 2014), a incorporação dos robôs na arquitetura pode ter efeitos ainda mais profundos porque altera o raciocínio de projeto, já que sua base de representação é de natureza muito diversa da neutralidade do papel e da caneta nanquim, do *AutoCAD*, do *Revit* e das máquinas de produção seriada do Século XX. Segundo o autor:

“Equações e fluxos de dados parecem constituir, em contraste, um meio fluido que tende a unir o cérebro humano e suas extensões mecânicas. Essa nova intimidade pode ser descrita como o advento de um designer *ciborgue*, cujas



*Fiberbots* são robôs semi autônomos desenvolvidos no laboratório *The Mediated Matter Group*, no MIT, liderado por Neri Oxman. Os robôs inspirados nos bichos da seda vão tecendo a estrutura com filamentos, se apoiando diretamente sobre ela para tecer a próxima parte.

intenções são materializadas pela ação de braços artificiais poderosos. Mas essa perspectiva pode ser enganosa, na medida em que a melhor maneira de imaginar o que os robôs fazem não é necessariamente considerá-los como extensões da mente e do corpo humanos. Pois eles não substituem exatamente os braços e mãos humanos; eles seguem princípios próprios, muitas vezes diferentes das regras que governam os gestos produtivos humanos. Juntamente com a prontidão com a qual eles obedecem às instruções do designer, essa diferença aumenta seu potencial epistêmico”.

Da mesma maneira que a industrialização “desempenhou um papel epistemológico e forçou os ar-

quitetos a pensar de forma diferente”, conclui Picon (2014), “essa pode ser a consequência mais importante da introdução de robôs na arquitetura, pelo menos por enquanto”. Picon (2014) elenca algumas consequências imediatas do advento dos robôs na arquitetura, das quais gostaríamos de destacar duas. Em primeiro lugar, “os robôs obrigam os arquitetos a pensar de verdade no espaço tridimensional, onde não há mais direções privilegiadas”. Em outras palavras, os robôs nos introduzem “a um mundo geométrico profundamente diferente”. E em segundo lugar, a ‘materialidade digital’ é baseada em associações antagônicas: “a física e a eletrônica, a sensorial e computacional, o concreto e o abstrato”. Robôs, disse Picon, “nos ensinam que há também uma linha cada vez mais fina entre objetos e processos”.



### Considerações Finais

Nesse artigo, procuramos demonstrar que a representação gráfica em arquitetura surge durante o Renascimento como um artefato altamente tecnológico que definiu durante muito tempo a própria noção da disciplina. A Matemática era a ferramenta base, usada tanto na invenção e intuição espacial quanto no controle da forma arquitetônica, sendo a aritmética e a geometria suficientes para o entendimento do espaço até então (PICON, 2011). Estabeleceu-se, assim, a permanência da aritmética e da geometria como referências constantes e conhecimentos fundamentais para os arquitetos.

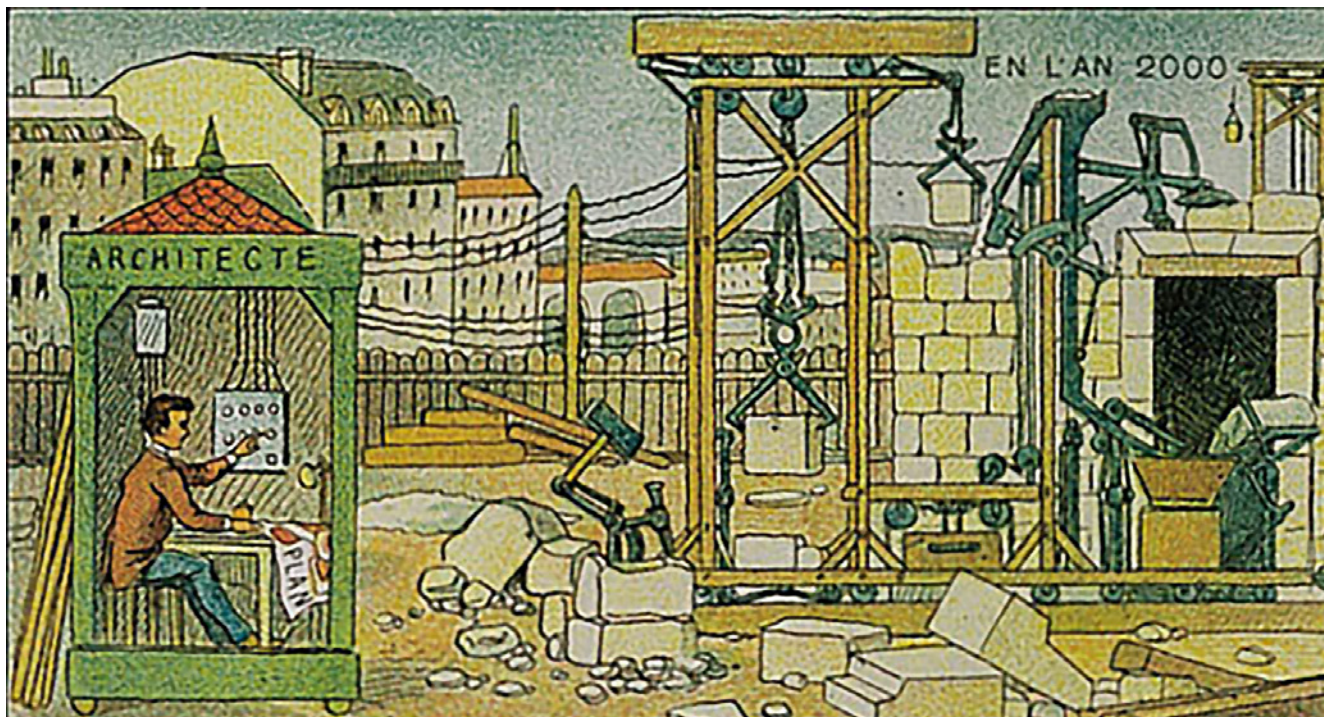
Com o advento do Cálculo em fins do século XVIII, a relação entre as duas disciplinas começou sua lenta separação que se mantém até hoje para a maior parte dos arquitetos. Uma das razões possíveis é que o Cálculo se relaciona com outras considerações que não são puramente espaciais ou geométricas (PICON, 2011). Teóricos como Viollet-le-Duc e Gottfried Semper passaram a se interessar mais por outras matérias, como história, antropologia e ciências biológicas do que pela matemática de seu tempo. A exaltação de Le Corbusier à matemática, por exemplo, está relacionada à geometria euclidiana e não ao Cálculo utilizado pelos engenheiros de sua época tão aclamados por ele. Desse modo, a aritmética e a geometria permaneceram como ferramentas práticas muito úteis, mas que gradualmente perderam sua “aura de técnicas de design de ponta” (PICON, 2011). Paulatinamente, a representação gráfica foi sendo despida de seu teor intelectual original para se tornar um produto ‘complementar’ à arquitetura.

Com advento das concepções arquitetônicas e dos métodos de fabricação digitais, conceitos oriundos da matemática baseada em Cálculo, como topologia, método de elementos finitos, discretização, randomização e determinismo, passaram a ser as-

suntos sedutores para arquitetos (PICON, 2011). Sob a influência de ferramentas digitais, a arquitetura incorporou diversos elementos matemáticos, das curvas *spline* aos algoritmos e o protagonismo da representação se tornou flagrante. De fato, foi por pelos domínios da representação gráfica que o movimento digital encontrou sua porta de entrada na arquitetura (CASTLE, 2013) e, sem dúvida, a representação é a parte mais visível de todo o espectro de mudanças que as tecnologias digitais implicam.

Nesse contexto, além de perder seu valor contextual durante o primeiro turno da *virada digital*, no segundo turno, os desenhos arquitetônicos tradicionais, mais especificamente os ‘desenhos técnicos’, sejam eles digitais ou à mão, “estão perdendo todas as suas funções notacionais residuais” (CARPO, 2013A). Ao mesmo tempo, a tarefa de representar a arquitetura no contexto digital está cada vez mais complexa, uma vez que há um espectro muito maior de elementos a ser representados. Como tentou-se demonstrar aqui, modelos tridimensionais são plenamente capazes de substituir textos e imagens como ferramentas para a notação e replicação, representação e quantificação da arquitetura. Na realidade, a separação entre representação – projeto – construção perde completamente o sentido no âmbito digital, assim como a natureza do suporte também perde a neutralidade. Ao contrário, os avanços anunciados rumo à inteligência artificial, à internet das coisas e ao *Big Data* sugerem que as ferramentas digitais podem nos confrontar diretamente pela primeira vez com a necessidade de “cooperar com nossos auxiliares tecnológicos ao invés de simplesmente usá-los” (CARPO, 2017).

De modo mais abrangente, o advento das tecnologias digitais na arquitetura significou “o fim das limitações notacionais, da standardização industrial e, de modo mais geral, da maneira Albertiana e autoral de construir a partir do desenho” (CARPO,



*En L'an 2000* foi uma série de cartões postais desenhados por artistas franceses, em 1910, ilustrando o futuro. Nessa imagem visionária, Villemard imaginou arquitetos controlando máquinas no canteiro de obras.

2011). A prática contemporânea de arquitetura tem fornecido exemplos concretos nascidos desses novos modos de projetar, de modo que é possível listar inúmeras experiências de arquiteturas bem-sucedidas onde lápis e papel não foram usados em momento algum – nem na concepção, nem na documentação de projeto. Quando os arquitetos de vanguarda como Thom Mayne (2006) proclamam que não elaboram uma planta há anos, resta-nos perguntar por que a educação do arquiteto ainda é majoritariamente fundamentada nos mesmos princípios de desenho por método projetivo e no raciocínio de projeto baseado na noção de programa, ambos estabelecidos no século XIX (TSCHUMI, 199).

Seria a então a morte do desenho? Talvez seja uma pergunta para a próxima geração de arquitetos, para as crianças que já nascem fluentes no mundo digital, que já aprendem a usar todos os recursos de um *smartphone* aos quatro anos de idade, que já programam aos oito e já montam seu primeiro robô aos

dez. Por enquanto, o desenho à mão, especialmente o desenho conceutivo, não parece estar mais ameaçado do que antes (CARPO, 2013). Arquitetos de hoje devem lidar com outras perguntas. Como é possível assegurar a sua posição no campo da construção civil em crescente domínio tecnológico digital? Como concentrar esforços tecnológicos no sentido de garantir projeto e construção de alta qualidade e não apenas na produtividade operacional? Certamente não é ignorando as tecnologias e muito menos sua intrínseca relação com as formas de representação emergentes. Computadores não precisam de teorias, nós sim. Assim como Alan Turing declarou em 1950, vamos preservar para nós o que fazemos de melhor e deixar a máquina brilhar onde ela é mais potente. A saída é olhar criticamente para as inúmeras contribuições tecnológicas advindas da disciplina da representação. Olhar para ela pelo seu incrível substrato intelectual e não como produto final, de outra maneira, é reincidir num erro crasso.



**Referências Bibliográficas:**

- ANDERSON, Chris. *Makers: the new industrial revolution*. New York: Crown Business, 2012.
- ARGAN, Giulio Carlo. 2006. *Arte Moderna*. 2a ed. Tradução de Denise Bottman e Federico Carotti. São Paulo: Companhia das Letras. Publicado primeiro em 1992.
- ATAMAN, Osman. Measuring the impact of media on architectural design. In *IV Congresso da Sociedade Ibero Americana de Gráfica Digital*, Rio de Janeiro, 2000.
- BARKI, José. Representação digital e o projeto de arquitetura. *IV Congresso Ibero Americano de Gráfica Digital*, Rio de Janeiro, 2000.
- BEAUDRY MARCHAND, Emmanuel; DORTA, Tomás; PIERINI, Davide. *Influence of Immersive Contextual Environments on Collaborative Ideation Cognition-Through design conversations, gestures and sketches*. 2018.
- CARPO, Mario. *The alphabet and the algorithm*. MIT Press, 2011.
- CARPO, Mario (Ed.). *The digital turn in architecture 1992-2012*. John Wiley & Sons, 2013A.
- CARPO, Mario. *The art of drawing*. *Architectural Design*, v. 83, n. 5, p. 128-133, 2013B.
- CARPO, Mario. Parametric Notations: The Birth of the Non-Standard. *Architectural Design*, v. 86, n. 2, p. 24-29, 2016.
- CARPO, Mario. *The Second Digital Turn: Design Beyond Intelligence*. MIT Press, 2017.
- CUNHA, Mariana Marques da Silva Branco et al. Ambientes virtuais e imersivos. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de Lisboa. Faculdade de Arquitetura.
- COOK, Peter. *Drawing: the motive force of architecture*. John Wiley & Sons, 2014.
- DOLLENS, Dennis. *De lo digital a lo analógico*. Gustavo Gili, 2002.
- EISENMAN, Peter. *O fim do clássico: o fim do começo, o fim do fim*. Uma Nova Agenda para a arquitetura: Antologia, 2006.
- ESPINHEIRA NETO, Ruy Alberto de Assis. *Arquitetura digital: a realidade virtual, suas aplicações e possibilidades*. 2004. 83 f. 2004. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil)–COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- EVANS, Robin. *Translations from drawing to building*. Cambridge: The MIT Press, 1997.
- FEFERMAN, Milton. Transferências imagéticas na arquitetura. *Cadernos do Proarq/ UFRJ/ Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro – ano 1, n°1 (set. 1997)*.
- GARCIA, Mark. Emerging technologies and drawings: The futures of images In architectural design. *Architectural Design*, v. 83, n. 5, p. 28-35, 2013.
- GRAMAZIO, Fabio; KOHLER, Matthias. *Made by robots: challenging architecture at a larger scale*. John Wiley & Sons, 2014.
- HENSEL, Michael. *Performance-oriented architecture: rethinking architectural design and the built environment*. John Wiley & Sons, 2013.
- HEWITT, Mark. Representational Forms and Modes of Conception; an Approach to the History of Architectural Drawing. *Journal of Architectural Education*, v. 39, n. 2, p. 2-9, 1985.
- KAYSER, Markus et al. FIBERBOTS: Design and Digital Fabrication of Tubular Structures Using Robot Swarms. In: *Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design*. Springer, Cham, 2018. p. 285-296.
- KOLAREVIC, Branko. Digital morphogenesis. *Architecture in the Digital Age—Design and Manufacturing*. London, New York: Spon Press, p. 26, 2003.
- LE CORBUSIER. *Por uma arquitetura*. Tradução Ubirajara Rebouças. São Paulo: Perspectiva, 2002.
- KYMMELL, Willem. Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations (McGraw-Hill Construction Series): *Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*. McGraw Hill Professional, 2007.
- LÉVY, Pierre. *Que é o Virtual?*, O. Editora 34, 2003.
- LINDSEY, Bruce. *Digital Ghery: material resistance/ digital construction*. Basileia: Birkhauser, 2001.
- MAYNE, Thom; MAYNE, Thom; COOK, Peter. *Morphosis: 1998-2004*. Rizzoli, 2006.
- MENGES, Achim. The New Cyber-Physical Making in Architecture: Computational Construction. *Architectural Design*, v. 85, n. 5, p. 28-33, 2015.
- MICHALATOS, Panagiotis. Design Signals: The Role of Software Architecture and Paradigms in Design Thinking and Practice. *Architectural Design*, v. 86, n. 5, p. 108-115, 2016.



- MITCHELL, William. *Computer-Aided Architectural Design*. Nova York: Van Nostrand-Reinhold Company, 1977.
- NATIVIDADE, Verônica Gomes, *Faturas metodológicas nas arquiteturas digitais*. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado em Projeto de Arquitetura, 2010.
- NEGROPONTE, Nicholas (ed). *Computer aids to design and architecture*. Nova York: Petrocelli/ Charter, 1975.
- OXMAN, Neri. Age of entanglement. *Journal of Design and Science*, 2016.
- OXMAN, Rivka; OXMAN, Robert. The new structuralism. *AD Architectural design*, v. 206, 2010.
- PALLASMAA, Juhani. *The thinking hand: Existential and embodied wisdom in architecture*. Chichester: Wiley, 2009.
- PANOFSKY, Erwin. *A perspectiva como forma simbólica*. Lisboa: edições 70, 1999.
- PEREZ-GOMEZ, Alberto. Architecture as drawing. *Journal of Architectural Education*, v. 36, n. 2, p. 2-7, 1982.
- PÉREZ-GÓMEZ, Alberto & PELLETIER, Louise. *Architectural representation and the perspective hinge*. MIT Press, 2000.
- PIEDMONT-PALLADINO, Susan (ed.). *Tools of the Imagination: Drawing Tools and Technologies from the Eighteenth Century to the Present*. Nova York: Princeton Architectural Press, 2007.
- PICON, Antoine. Architecture and mathematics: Between hubris and restraint. *Architectural Design*, v. 81, n. 4, p. 28-35, 2011.
- PICON, Antoine. *Robots and Architecture: Experiments, Fiction, Epistemology*. *Architectural Design*, v. 84, n. 3, p. 54-59, 2014.
- RATTI, Carlo; CLAUDEL, Matthew. *The city of tomorrow: Sensors, networks, hackers, and the future of urban life*. Yale University Press, 2016.
- ROBBINS, Edward; CULLINAN, Edward. *Why architects draw*. MIT press, 1994.
- SHERMAN, William R.; CRAIG, Alan B. *Understanding virtual reality*. San Francisco, CA: Morgan Kaufman, 2003.
- SCHUMACHER, Patrik. Parametricism 2.0: Gearing Up to Impact the Global Built Environment. *Architectural Design*, v. 86, n. 2, p. 8-17, 2016.
- SOMOL, Robert E. Dummy text, or the diagrammatic basis of contemporary architecture. *Diagram Diaries*, p. 6-25, 1999.
- SPILLER, Neil. *Drawing architecture*. John Wiley & Sons, 2013.
- TSCHUMI, Bernard; YOUNG, Robert. *The Manhattan Transcripts*. 1994.
- VIDLER, Anthony. *Histories of the immediate present*. Cambridge Mass, MIT Press, v. 13, p. 31-43, 2008.
- VIRILIO, Paul. *Espaço crítico*. São Paulo: Editora 34, 2005.
- YABLONINA, Maria; MENGES, Achim. Towards the development of fabrication machine species for filament materials. In: *Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design*. Springer, Cham, 2018. p. 152-166.
- WOOD, Dylan et al. Cyber Physical Macro Material as a UAV [re] Configurable Architectural System. In: *Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design*. Springer, Cham, 2018. p. 320-335.