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

TRAÇANDO LINHAS DIGITAIS SOBRE ENSINO DE ARQUITETURA NO BRASIL

SESSÃO TEMÁTICA: FABRICAÇÃO DIGITAL

Verônica Natividade
DAU/ PUC-Rio
veronica.natividade@puc-rio.br

Silvio Dias
DAU/ PUC-Rio
silviodias@puc-rio.br

TRAÇANDO LINHAS DIGITAIS SOBRE ENSINO DE ARQUITETURA NO BRASIL

RESUMO

Esse artigo é uma reflexão sobre a inserção de processos digitais no ensino de arquitetura no Brasil, a partir da experiência de quatro anos na PUC-Rio e UFRJ. O trabalho apresenta os principais conceitos técnicos de arquitetura digital. Também discute a relação entre arquitetura e representação, além de introduzir uma reflexão acerca do ensino e produção de arquitetura na Era informacional.

Palavras-chave: Arquitetura digital. Fabricação digital. Ensino de arquitetura.

SKETCHING DIGITAL LINES OVER ARCHITECTURAL EDUCATION IN BRAZIL

ABSTRACT

The present work is a reflection on the inclusion of digital process in architectural education in Brazil, based on four years' experience teaching at PUC-Rio and UFRJ Architecture Schools. This article introduces the main technical concepts of digital architecture and it is also aimed at discussing the relationship between architecture and representation, as well as suggests a debate on the teaching and production of architecture facing the challenges of the new information era.

Keywords: Digital architecture. Digital fabrication. Architectural education.

1. INTRODUÇÃO

"*When the problem becomes disconnected from the solution, we do not have a solution at all but a new problem*" (FRAZIER, 2005).

O termo arquitetura paramétrica foi usado pela primeira vez por Luigi Moretti nos anos 1940 (BUCCI & MULAZZANI, 2000). Moretti pesquisava a relação entre design arquitetônico e equações paramétricas sob o desígnio de "*architettura parametrica*", àquela altura, sem o uso de computadores. A noção de arquitetura paramétrica como entendemos hoje não é fundamentalmente diferente dessa descrição, mas a terminologia mudou. A visão contemporânea "nasceu na página 26 do livro "*A dobra*", de Gilles Deleuze, publicado em 1988" (CARPO, 2016). O filósofo intrigou o mundo da arquitetura ao apontar a generalização que a notação paramétrica do matemático Leibniz induz, já que esse novo tipo de script define um conjunto de objetos e não um único em particular. Foi um aluno de Deleuze, Bernard Cache, que apontou que a notação paramétrica era

mais adequada à lógica de design e fabricação assistidos por computador. Era a melhor definição para os objetos não-estandardizados da era digital (CARPO, 2016). Também em 1988, outro pioneiro, Marcos Novak, reforçou o coro ao publicar seu artigo "*Computational compositions in architecture*", onde defendeu que uma arquitetura verdadeiramente digital deveria ser originada de lógicas e processos algorítmicos exclusivamente computacionais. Depois disso, a parametrização mudou o mundo da arquitetura.

Ensinar processos paramétricos para arquitetos em sua plenitude não exige somente conhecimentos gerais de matemática – Cálculo, Álgebra, Geometria, Trigonometria, lógica. Conhecimentos ontológicos da arquitetura, como história, teoria, representação, tecnologia, cultura, sociedade – as bases do ensino com ou sem processos digitais – também são essenciais na construção do significado desse novo modo de fazer arquitetura. Esse artigo procura identificar alguns pontos-chave na educação de arquitetos em processos digitais, observados ao longo de quatro anos de experiência de ensino em formato de disciplinas regulares e workshops na PUC-Rio e UFRJ.

2. ABORDAGEM INTEGRADA

"Alunos de arquitetura não se interessam por matemática" é uma frase recorrente nos corredores de escolas de arquitetura. As origens dessa frase, no entanto, são mais antigas do que muitos supõem. No texto "*Architecture and mathematics: between hubris and restraint*", Antoine Picon (2011) explica como a Matemática e seu paulatino afastamento da Arquitetura tem influenciado a disciplina. Em seu breve histórico, Picon (2011) introduz a ideia de que, além da função teórica, a Matemática também exercia uma função de ferramenta, já que o mesmo princípio matemático pode ser aplicado simultaneamente na fundamentação e na prática de projeto. Cita como exemplo as proporções vitruvianas, que serviam como teoria arquitetônica ao mesmo tempo em que se constituíam como método para a produção de edifícios. A Matemática era, portanto, uma ferramenta usada tanto na invenção e busca pelo incerto, como também no controle da forma arquitetônica, fortalecido pelo desenvolvimento da geometria descritiva por Gaspar Monge em meados do século XVIII. Estabeleceu-se, assim, a permanência da aritmética e da geometria como referências constantes e conhecimentos fundamentais

para os arquitetos. Na arquitetura, a Matemática manteve forte ligação com a intuição espacial, onde a aritmética e geometria eram suficientes para o entendimento do espaço até então (PICON, 2011).

A relação entre as duas disciplinas foi interrompida com o advento do Cálculo em fins do século XVIII. 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 disciplinas, como história, antropologia e ciências biológicas do que pela matemática de seu tempo. Apesar das afirmações em contrário feita por arquitetos como Le Corbusier, a indiferença à Matemática permaneceu globalmente verdadeira na arquitetura moderna e perdura até hoje (PICON, 2011). Enquanto a aritmética e a geometria permaneceram como ferramentas práticas muito úteis, mas gradualmente perderam sua "aura de técnicas de design de ponta" (PICON, 2011).

Com advento dos computadores, conceitos oriundos da matemática baseada em Cálculo, como topologia, método de elementos finitos, discretização, randomização e determinismo voltaram a ser assuntos sedutores para arquitetos (PICON, 2013). No entanto, não foram capazes de romper com o distanciamento (PICON, 2016). Na verdade, a situação de hoje é bastante paradoxal. Sob a influência de ferramentas digitais, a arquitetura nunca usou tantos objetos matemáticos, das curvas Bézier aos algoritmos. Por outro lado, a indiferença da relação desses com a matemática permanece. A menção contemporânea à Matemática tem sido muito superficial e isso não é exclusividade da Arquitetura (SOKAL, 1999). Mesmo em "arquiteturas digitais" (NATIVIDADE, 2010), a matemática raramente tem sido usada, seja como princípio conceitual ou ainda como fermenta conceptiva. A educação do arquiteto ainda é fundamentada nos mesmos princípios de método projetivo e o raciocínio de projeto permanece baseado na noção de programa, ambos estabelecidos no século XIX (TSCHUMI, 1994).

O curso da arquitetura da PUC-Rio é um caso especial porque, diferente de escolas públicas tradicionais, como por exemplo a UFRJ, não nasceu de um curso previamente vinculado à *Beaux-Art*. Nasceu vinculado à escola de engenharia, o que, no entanto, não lhe conferiu um caráter mais tecnológico como era se esperar. Nesse curso, professores

da engenharia são designados para lecionar as disciplinas “tecnológicas”, como “Matemática aplicada à arquitetura” e “Cálculo estrutural”. O fim do semestre costuma ser frustrante para ambos os dois lados. Em nossa opinião, conhecimentos fragmentados e isolados de contexto perdem a força e a relevância. Tal afirmação pode ser facilmente comprovada no ensino de sistemas paramétricos, onde os alunos muitas vezes sem perceber, aplicam os mesmos conhecimentos de matemática que tanto rechaçam em disciplina “técnicas”.

É verdade que, em geral, as escolas de arquitetura tendem a centralizar os esforços nas disciplinas de projeto. Porém, a tendência de tratar os demais conhecimentos necessários à formação do arquiteto como algo à parte – os “conteúdos complementares” (história, teoria, representação, tecnologia) da maneira como tem sido feita, tem como ônus a perpetração da ideia de “projeto pelo projeto”, baseada na solução de plantas e estudo de programas. Nesse cenário, disciplinas que envolvem processos digitais são relegadas à condição de “representação”, termos por vezes tratado como pejorativo, por ser algo de menor importância dentro de tudo o que representa o projeto. Essa postura nos fornece dois pontos que gostaríamos de tratar.

O primeiro é a questão colocada por Mitchell em 1975: "o nível menos ambicioso do uso da máquina é alocar a ela apenas tarefas de representação", seguido da "tarefa de avaliar soluções produzidas para consideração pelo designer humano". Infelizmente, na maioria dos currículos de arquitetura estas são as únicas funções atribuídas ao computador. Quando Mitchell afirma que "o nível potencial mais ambicioso de uso da máquina é a tentativa de desenvolver sistemas capazes de lidar de forma inteligente e flexível com problemas mal definidos, ou seja de exibir a capacidade característica de um bom designer humano", os princípios computacionais são posicionados também no domínio do processo e da estratégia além da técnica.

O segundo é a questão da representação. Foi por esses domínios que o movimento digital encontrou sua porta de entrada na década de 1960. Sem dúvida, a representação é a parte mais visível de todo o espectro de mudanças que as tecnologias digitais implicam (OXMAN, 2008; LYNN, 1998). Acreditamos que o croqui de estudo não deve ser e não será suplantado, mas observar alunos passeando nos corredores com réguas “T”

enquanto se avança a passos largos rumo ao *building information modeling*[1] parece um descolamento muito grande da realidade. Felizmente, a prática contemporânea de arquitetura tem fornecido exemplos concretos nascidos desses novos modos de projetar. Quando os arquitetos de vanguarda como Thom Mayne (2006) proclamam que não elaboram uma planta há anos, eles expõem um problema significativo dos efeitos dos processos digitais na educação (AMBRÓSE, 2012).

Em sua tese de doutorado, o pesquisador Gonçalo Henriques (2013) analisou os modelos de aplicação das tecnologias digitais em currículos de arquitetura mais amplamente debatidos: Oxman (2006), Mitchell e McCullough (1994), Duarte et. Al. (2011), Mitchell (1975) e Kieran e Timberlake (2004). Na sua interpretação, enquanto no modelo de Oxman o usuário ocupa lugar central, no modelo de Mitchell e McCullough essa posição é ocupada pelo edifício, ao passo que no modelo de Kieran e Timberlake, são as ferramentas digitais que catalisam todos os processos de todas as disciplinas envolvidas na produção da arquitetura, incluindo engenharias, construção e materiais. Apesar dessas diferenças, os modelos guardam um ponto em comum: "a representação perde a centralidade anterior que exigia a sua discriminação dentro dos processos digitais. A centralidade passa a ser ocupada pela informação, mas como veículo que vai alimentando o modelo" (HENRIQUES, 2013). Não significa a morte da representação. Ao contrário, significa que a disciplina urge por reinterpretações de seu papel e significado.

Desse modo, não entendemos a postura centralizada no processo de projeto como algo necessariamente ruim. Ao contrário, concordamos com Helen Castle (2015) de que os avanços que o digital tem colocado à disciplina são exatamente fruto dessa postura. No entanto, gostaríamos de reforçar uma abordagem articulada de conhecimentos (IORDANOVA, 2008), seguindo as recomendações de Vigotsky (*apud* IORDANOVA, 2008) de que, ao lidar com conhecimento, a solução é sempre conectar, não isolar. Dentro desse contexto, acreditamos que os processos digitais podem exercer um papel fundamental, se, além da instrumentação, forem associados ao pensamento de projeto e sua produção física. Do ponto de vista educacional, o uso de algoritmos permite a codificação do conhecimento arquitetônico ligada a regras e leis que incidem sobre a

[1] Palavras que formam o acrônimo BIM.

arquitetura, como estrutura, aspectos climáticos, espaciais, etc., que podem ser encapsulados em um único modelo que permite a visualização e manipulação de todas essas informações em tempo real, bem como a influência de um aspecto sobre o outro de maneira holística.

Isso significa educar os alunos a partir de uma nova perspectiva de pensamento de projeto, baseada no processo e não no resultado, por meio de postura experimentalista (IORDANOVA, 2008 OXMAN, 2006; 2008; ROUDAVISKI, 2011) para então proporcionar conhecimento arquitetônico com aplicação factual ao objeto de projeto. Portanto, em nossa opinião, o ensino de processos digitais na arquitetura deve estar ligado a verdadeiros problemas de arquitetura, a fim de serem bem compreendidos e aceitos pelos alunos.

De fato, o ensino da arquitetura sempre se relacionada com teorias e meios de representação e cada meio traz seus pressupostos, oportunidades e desafios (KVAN *et. al*., 2004). Diversos pesquisadores se dedicaram a identificar, descrever e teorizar sobre os tipos e modelos de representação surgidos a partir da inclusão dos computadores nos ateliês de projeto (MITCHELL, 1975; OXMAN, 2006; AKSAMIJA & IORDANOVA, 2010; LONNA, 1997; AMBROSE, 2012). Em todos os textos, a natureza multimodal da representação em arquitetura permite levantar algumas questões que queremos explorar.

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. Além disso, em processos generativos digitais o que ocorre é uma verdadeira “fusão entre suporte e ferramenta, representação e ato conceptivo; aspectos do ato de projetar separados historicamente pelo paradigma albertiano” (NATIVIDADE, 2010). “Assim, a representação pode ser tanto um input, como pode existir durante o processo ou ser resultado ou output desse processo (HENRIQUES, 2013). Essa nova maneira de representar arquitetura não só agrega mais informações, como também estabelece a fluência entre elas durante todo o processo de projeto. Portanto, não há nenhuma abstração. O edifício está literalmente [virtualmente] construído, um tipo de representação que não pode ser feita em representações convencionais.

É verdade que a liberdade e rapidez da “mão que pensa” (PALLASMAA, 2009) possui atributos que o computador não tem. Parece impossível questionar o papel do desenho no processo criativo (ROBBINS, 1997; SHON, 1992). Por outro lado, seguindo a mesma linha de raciocínio de Mitchell (1975), a melhor contribuição do computador não está em imitar o gestual humano, mas em explorar novos campos de experimentação (EISENMAN, 1999; TERZIDIS, 2006; OXMAN, 2008). Não significa, contudo, que o desenho à mão como ferramenta de concepção deve ser totalmente descartado. Ao contrário, o mundo digital favorece a conjunção de diversas mídias e muitos arquitetos digitais defendem o desenho (COOK, 2008; SPILLER, 2013), apesar das inúmeras experiências bem-sucedidas onde lápis e papel não foram usados em momento algum – nem na concepção, nem na documentação de projeto (MAYNE, 2006; TERZIDIS, 2006; MENGES, 2015).

Além disso, para ser verdadeiramente proficiente em processos digitais, os alunos devem ser capazes de exprimir problemas de projeto com representações alternativas não necessariamente gráficas. Os diagramas, por exemplo, têm sido utilizados como instrumentos técnicos fundamentais no conhecimento de projeto, além de ferramentas para a produção e representação do discurso arquitetônico (SOMOL, 1999; AYRES, 2012). São baseados na teoria dos grafos e dos conjuntos de Alexander (1964), e na interpretação da descontrução de Eisenman (1963). Os modelos paramétricos confeccionados em linguagem de programação visual podem ser entendidos como diagramas de projeto, já que exigem certo nível de abstração, ao mesmo tempo em que não se distanciam tanto da realidade, como ocorre com os códigos de programação em texto (CELANI & VAZ, 2010).

Figura 1: Alunos da disciplina de Fabricação Digital (ARQ1359_2016-01). Os alunos formularam seus projetos a partir do conceito proposto e do estudo do comportamento físico da estrutura. Conceito e técnica foram traduzidos algoritmicamente no Grasshopper.

3. ARQUITETURA E COMPUTADORES

Embora a relação entre arquitetura e computadores tenha sido inaugurada em 1961 pelo matemático Ivan Sutherland no MIT, demorou mais de duas décadas para que popularização desses caros equipamentos permitissem sua adoção em escolas de arquitetura. Hoje, nosso estágio tecnológico é bem diferente, mas ainda não está totalmente claro, como as novas tecnologias podem se integrar com o lado humano, a interação, o ambiente e os objetivos subjacentes da arquitetura. Essa incerteza dá combustível à resistência de muitos acadêmicos.

Kotnik (2010) distinguiu “três grandes níveis de *computabilidade* no design”: **(i) representacional** – a mais comum, caracterizada pelo uso dos computadores como mero artefato de desenho, onde o processo de design permanece baseado nos mesmos princípios convencionais; **(ii) paramétrico** – definido como um “processo dinâmico, baseado em regras, controlado por variações e parâmetros, onde várias soluções de design podem ser desenvolvidas em paralelo” (WOODBURRY, 2010). É caraterizado pelo estabelecimento de uma relação de contínua variação de parâmetros dentro de um dado espectro de possibilidades, onde a interdependência entre as partes e o todo é mantida. No nível paramétrico, no entanto, a relação algorítmica é fixa e o ápice do processo está mais relacionado à possibilidade de quantificação de *inputs* que, por sua vez, gera variações controladas de *outputs*; **(iii) algorítmico** – esse nível expande as possibilidades de controle e manipulação das descrições formais, das funções e da aplicação de códigos como estratégia de design. Em nível algorítmico, o foco está no desenvolvimento da lógica de design computacional como uma sequência de operações algébricas, geométricas e analíticas empregadas na manipulação de informações que serão traduzidas em propriedades arquitetônicas. É, sem dúvida, o nível mais avançado de design computacional e o que confere maior liberdade ao designer, que já não se submete às limitações dos componentes oferecidos pelo software.

Sistemas algorítmicos estão na base de todos os sistemas generativos. Stiny e Gips (1978) definiram um algoritmo como uma declaração explícita de uma sequência de operações necessárias para executar operações com um determinado propósito e a computação é o ato de executar essas operações. Sistema generativos de projeto foram descritos por Mitchell (1975), como dispositivos capazes de gerar soluções em potencial para um dado problema de projeto. As mais importantes estratégias do projeto generativo são “as combinações, as substituições, a parametrização, as restrições de contexto, a aleatoriedade, a emergência, a otimização e a combinação de duas ou mais delas” (CELANI & VAZ, 2011). Portanto, o design paramétrico pode ser considerado como uma classe especial de design algorítmico, onde as variáveis são declaradas explicitamente. Diversos softwares dotados de ferramentas paramétricas estão disponíveis no mercado. Se baseiam em linguagem de programação visual, ou em linguagem de programação textual que podem ser implementados em outros softwares.

A noção de desenho paramétrico, suas contribuições para a disciplina e impacto no ensino têm sido alvo de inúmeras pesquisas[2]. O raciocínio aplicado no desenvolvimento do projeto com base em princípios paramétricos é bem diferente quando empregadas ferramentas convencionais. Isso não se deve somente à distinção instrumental e sim ao fato de o pensamento paramétrico exigir nova maneira de pensar (YU *et. al.*, 2015). É por meio do controle das relações lógicas entre formas e funções que definidas explicitamente nas regras que emergem as possibilidades de soluções de projeto. Nesse processo, duas classes cognitivas estão em jogo: o conhecimento de projeto e o conhecimento algorítmico (YU *et. al.*, 2015).

A computação aplicada à arquitetura, no entanto, não coincide com a adoção de processos paramétricos na arquitetura. Ao contrário do senso comum, computação não é uma atividade exclusiva de computadores (FRAZER, 2005). Computação é o processamento de informação e interação entre elementos que constituem um ambiente específico. Existe computação quando há dois elementos-chave: interação com o contexto e processamento de informação em termos algorítmicos. Portanto, existe computação na cibernética e na biologia (MENGES & AHLQUIST, 2011).

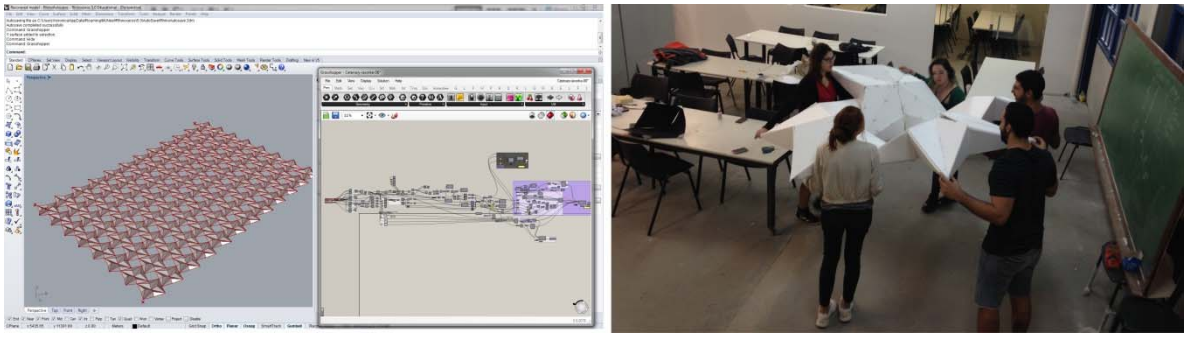

Figura 2: Alunos da disciplina de Fabricação Digital (ARQ1359_2015-02) da PUC-Rio testando o comportamento de um componente, à esquerda, e a simulação desse comportanto no Grasshopper, à direita.

O volume 02:2016 da revista *Architectural Design* foi dedicada à crise desse novo modo de fazer arquitetura, que historiadores como Mario Carpo e John Frazer, dizem estar na terceira fase. E em crise. A saída é apoiar a ação ancorada em três pontos: confrontação – crítica livre de tabus ou polêmicas por parte de seus opositores e supostas alternativas;

[2] Inúmeras publicações de Rivka Oxman, Branko Kolarevic, Robert Woodburry, Robert Aish, entre outros.

explicação – explanação positiva da racionalidade superior que tornam explícitas suas vantagens e realizações atraentes; autocrítica – debate crítico entre partes envolvidas que se encarregue não só dos epígonos superficiais que servem para descreditar o movimento, mas o debate construtivo sobre sua agenda de pesquisas e desafios mais urgentes. Enquanto a revista se propõe a explorar os dois últimos aspectos, nossa proposta é contribuir para o primeiro. No cerne da questão que queremos apresentar, está a observação de Carpo:

> *"As escolas de arquitetura estão na vanguarda da inovação digital e as novas fronteiras da computação estão sendo testadas por novas gerações de arquitetos, designers e digital makes, não por cientistas, economistas, advogados e engenheiros. Possivelmente pela primeira vez na história, as profissões que envolvem design – sempre retardatários tecnológicos – foram os iniciadores e protagonistas de um avanço tecnológico de grande escala. " (CARPO, 2016)*

Bhooshan completa a questão: "nada disso seria possível se não houvesse o estreito laço simbiótico entre academia e prática profissional". Em relato histórico dos últimos 15 anos, o autor enumera a longa lista produtos arquitetônicos surgidos graças à cooperação entre centros de pesquisa e escritórios de arquitetura. Nesse contexto, nossa pergunta central é: por que um movimento intensamente apoiado em pesquisas acadêmicas, que acontece há pelo menos três décadas, que já está na terceira fase e já enfrenta crise de legitimação, está praticamente fora do debate mais amplo nas universidades brasileiras?

Os computadores (não a computação!) entraram nas escolas de arquiteturas brasileiras mais amplamente a partir de 1994, com a publicação da portaria 1.770, que instituiu a obrigatoriedade do ensino da informática nos cursos de arquitetura brasileiros. A portaria estabelecia a "Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo" como matéria profissional, de acordo com a descrição abaixo:

> *"O estudo da Informática Aplicada a Arquitetura e Urbanismo abrange os sistemas de tratamento da informação e representação do objeto aplicados à arquitetura e urbanismo, implementando a utilização do instrumental da informática no cotidiano do aprendizado".*
>
> *(http://www.fau.usp.br/fau/administracao/acad/servgrad/faupoli/anexo_1.pdf)*

Proposta de revisão curricular sugerida em 2014 por uma comissão da Asbea, manteve o parágrafo anterior e incluiu o seguinte:

> *"O conhecimento dos instrumentais de informática para tratamento de informações, de* ***concepção, expressão*** *e representação aplicada à arquitetura, ao urbanismo, ao paisagismo e ao planejamento urbano e regional; (http://www.abea-arq.org.br/wp-content/uploads/2014/02/Proposta_Altera_Diretrizes.pdf - grifo original)*

Ao incluir a palavra "concepção", a proposta, ainda não acatada pelo MEC, pode finalmente significar uma reação institucional ao risco de transformar a disciplina em uma espécie de formação de *CAD monkeys*, "macaquinhos treinados para desenhar no computador, servindo de mão-de-obra barata para os novos escritórios de arquitetura informatizados", identificados por Gabriela Celani (2008). Tal modificação, contudo, não limita a chance de os alunos serem transformados em '*Grasshopper monkeys*', '*Revit monkeys*' ou qualquer outro software que o mercado considere interessante. Entendemos que a saída continua sendo a mesma proposta pela pesquisadora: o investimento em pesquisas na área. Nesse sentido, a educação dos novos profissionais se torna objeto de especial consideração. Os fundamentos filosóficos da educação em arquitetura estão em discussão em nível global (CLAYTON, 2013; YU *ET. AL.*, 2015; IORDANOVA, 2007; OXMAN, 2006; 2008), e têm sido apontados como resultado lógico dos processos educacionais centrados em investigação adotados pelas instituições de ponta há décadas, comprometidas com o constantemente questionamento sobre as condições das ferramentas tecnológicas, sempre à procura de lacunas críticas em seu uso (CLAYTON, 2013). Os novos processos de projeto emergentes do pensamento computacional não podem mais ser ignorados ou restritos a guetos na academia brasileira.

3. ONDE ESTÁ O CONHECIMENTO?

Quando a grande biblioteca de Alexandria foi queimada pelos cristãos em 391 d.C, embora tenha sido uma catástrofe para a cultura universal, pouco afetou a vida dos habitantes do planeta em sua maioria analfabetos e ignorantes do próprio mundo. A academia, então era fechada em si mesma e o conhecimento centralizado. Supõe-se que

houvesse, ao mesmo tempo, cerca de trinta a cinquenta estudiosos trabalhando na instituição, o que levou Timão, filósofo cético, a denominá-lo “Gaiola das Musas” (MEY, 2004).

Neste nosso admirável mundo conectado, o ambiente acadêmico não parece estar a séculos de distância da Gaiola das Musas. Grande parte da estrutura de ensino e, principalmente a universidade se apoia, ainda, em conceitos de educação da Era da Revolução Industrial, quando era possível, aprender, em quatro anos tudo o que se conhecia na época sobre determinada área e transformar um calouro numa pessoa refinada e superior. Este sistema foi baseado em linearidade, conformidade e normatização. Agora, uma vez que a Era da Informação substituiu a Era Industrial, os modelos educacionais estão sendo obrigados a seguir essa mudança (MILICEVIC, 2014).

Em seu livro “*Critical Path*” (1982), o futurista, arquiteto e inventor Buckminster Fuller demonstrava no seu gráfico da dobra do conhecimento, que se convertendo tudo o que a humanidade tinha acumulado e transmitido até o ano I d.C. a uma unidade de informação, provavelmente haveria passado cerca de 1500 anos ou até o século XVI para que essa quantidade de conhecimento dobrasse. Desde então o tempo entre dobras vem diminuindo exponencialmente. Considera-se que a velocidade de duplicação da informação esteja, hoje, entre um e dois anos e de acordo com as projeções da IBM (2006) com a implantação da Internet das Coisas, poderá dobrar, em breve, a cada 12 horas.

Ao disponibilizar seus cursos gratuitamente na rede, universidades como MIT e Harvard colocaram uma pá de cal à discussão: o conhecimento já não está mais circunscrito aos *campi* universitários. O chamado “Dilúvio de informações”, no entanto, não parece abalar significativamente os modelos estabelecidos da educação de arquitetura no Brasil. Enquanto a educação digital avança na educação básica, inclusive no Brasil, como será em 10 anos, quando as crianças que estão agora no fundamental aprendendo sobre robótica, programação e pensamento *maker* ingressarem na faculdade?

Apostamos na recomendação de Paranadi (2013) de que o foco deve ser repensar as práticas de ensino, e reequipar pedagogias para auxiliar os alunos a desenvolver seu próprio pensamento crítico e habilidades de aprendizagem ao longo da vida no acesso e

avaliação de informações pertinentes para o desenvolvimento de sua carreira. Tal recomendação não deixa claro, no entanto, se a estrutura básica do programa de ensino de arquitetura precisa mudar fundamentalmente, a fim de realizar plenamente as novas oportunidades e mudanças de perspectivas oferecidas pela informática ou se a melhor alternativa é a adaptação (MARK *et al*, 2001). Em ambos os casos, acreditamos que computação pode contribuir para uma "nova" compreensão do projeto e para entendimento da profissão como busca constante de conhecimento.

No contexto brasileiro, “a inserção de ‘novas tecnologias’ no ensino e na prática arquitetônica tem sido tudo menos suave” (DUARTE *et. al.*, 2010). O próprio termo é ambíguo e tende a ser reduzido a utilizações simplistas do computador ou, na maior parte das vezes, à utilização de softwares de CAD. Não é à toa que a questão divide educadores e profissionais. Em geral, as posições são extremas: de um lado, aqueles que defendem um papel central para o computador; do outro os que resistem em admitir que o computador pode ter qualquer relevância (DUARTE *et. al.*, 2010). Em todo caso, é possível admitir que, na maior parte das escolas de arquitetura brasileiras, o foco dos processos CAAD ainda é essencialmente instrumental e que a integração de tecnologias no desenvolvimento de projeto não acontece (DUARTE *et. al.*, 2011).

As referências teóricas utilizadas na conceituação da implementação de tecnologias digitais no currículo de arquitetura no IST-Lisboa (DUARTE *et. al.*, 2010) definem um bom ponto de partida para a discussão em território nacional. As cinco referências teóricas utilizadas combinam a teoria tradicionais e abrangente de ‘profissional reflexivo’ de Schon (Schon 1987; Schon & Wigging, 1992) com autores mais alinhados com propostas digitais, como Akin (1989), Mitchell e McCullough (1994), Mitchell (1975) e Wojtowicz (et. al., 1992, 1993).

4. FABRICAÇÃO DIGITAL

Um dos pioneiros da computação na arquitetura, John Frazer, publicou em 2005 o interessante artigo “*Computing without computers*”, onde traça uma linha do tempo do advento dos computadores na disciplina. Nele, se constata que a relutância de arquitetos em se interessar por como as coisas são feitas já era lamentada desde a década de 1960.

Na verdade, o distanciamento entre arquiteto e canteiro é atribuído ao paradigma albertiano (KOLAREVIC, 2002). A popularização da fabricação digital está inventando essa situação. Ao lidar com processos digitais, a fabricação do objeto que se propõe está em pauta desde o início de sua concepção.

A ideia de “tecnologia como um árbitro social" (GUILLÉN, 2006) serve como um indicador da relevância das abordagens arquitetônica. Apesar de ter fornecido uma base produtiva para o Modernismo (GUILLÉN, 2006), pensamento racional, método e padronização não são características que se relacionam com o estado atual do desenvolvimento tecnológico e conceitual. Assim como as teorias e representações da arquitetura têm sido reformuladas com base no digital (OXMAN, 2006; 2008), conceitos oriundos do novo contexto econômico, cultural e tecnológico devem ser compreendidos e antecipados no processo de concepção e construção, a fim de tirar o melhor proveito de ferramentas de suporte disponíveis (NEUMANN, 2014). A evolução da produção em massa moderna para os procedimentos em massa de personalização contemporâneos é central para a reavaliação da contribuição da tecnologia para projetar, construir e educar nossos novos profissionais (NEUMANN, 2014).

A materialidade sempre foi parte indissociável da arquitetura, mas em função dos novos processos digitais, a noção de materialidade tem ganhado muitas dimensões (OXMAN, 2010; MENGES, 2015). Na verdade, a dimensão material é apontada por diversos estudiosos como o maior potencial de reformulação de conceitos, teorias, práticas e críticas das arquiteturas digitais (PICON, 2011; HELEN; 2015). Para além da fabricação digital, o processamento de informações materiais figura como parte intrínseca e indissociável da concepção e construção. Nesse campo, embora com propósitos diferentes, as pesquisas de Achim Menges e Neri Oxman são grandes referências.

Diante dessas novas possibilidades, a modelagem física transcende o papel de representação do desenho, passando a funcionar como uma plataforma de investigação. A possibilidade de executar de protótipos rapidamente permite testar a geometria e a ligação entre os conjuntos de elementos, além de favorecer o desenvolvimento de novos métodos fabricação e o estudo de novas formas (MENGES, 2011). Todas essas pesquisas encontram seus precedentes analógicos nos experimentos dos grandes

mestres da computação sem computadores: Frei Otto, Buckminster Fuller, Franz Isler, Antonio Gaudi.

Nos centros de ensino mais avançados, os alunos são servidos com diversos equipamentos de fabricação digital, como braços robóticos, impressoras 3D de diversos tamanhos e para diversos materiais, cortes a laser, CNC, entre outras, além das máquinas que são construídas por estudantes. Na realidade brasileira, diversas escolas já contam com máquinas de fabricação digital, apesar de não possuírem todo o espectro de máquinas disponíveis. Mas a falta de equipamento não é principal barreira que vemos para alavancar a produção de arquitetura digital no país. A maior parte dos alunos usam a cortadora a laser, por exemplo, como “estilete digital” (PASSARO & HENRIQUES, 2015), desconsiderando todo o potencial latente da confecção de protótipos. Atitude semelhante ao destino dado a toda a gama de possibilidades dos processos digitais na concepção e representação de projeto, como vimos nos tópicos acima. Atribuímos a essência desse problema na ordem conceitual e metodológica do ensino difundido, e não na tecnologia propriamente dita. Mais uma vez, concordamos com Celani (2008) que a saída continua sendo o investimento em pesquisa.

4. NOTÍCIAS DO FRONT

Elaboramos as conclusões a seguir com base na literatura e nas observações coletadas em quatro anos de experiência de ensino de modelagem 3D com Rhinoceros e design paramétrico com Grasshopper em formato de disciplina regular na PUC-Rio e em duas edições de workshops oferecidos pelo LAMO na UFRJ, chamados Abrigos Sensíveis (2012) e Desafiando a Gravidade (2013).

- Conhecimentos fragmentados perdem a potência. Portanto, as disciplinas que compõem o currículo devem ser verdadeiramente integradas. Nessa integração, deve-se considerar a inclusão de processos digitais de maneira mais incisiva;
- Disciplinas de desenho baseadas no método projetivo, como Geometria Descritiva e Desenho Técnico devem ser revisitadas, tendo em vista a lacuna tecnológica que os modelos paramétricos implicam;

- A proficiência em processos algorítmicos de qualquer nível (KOTNIK, 2010) é difícil de ser alcançada. Em geral, a curva entre o início do aprendizado e a aplicação dos conhecimentos para elaborar sistemas generativos próprios é grande (GERO et. Al, 2015). A situação é mais crítica se os alunos tomarem como absoluto que programar é muito difícil – mesmo com plataformas baseadas em linguagem de programação visual e, pior, se não forem estimulados a enxergar a relação entre esses conhecimentos a sua prática profissional. Portanto, defendemos a relação estreita entre conteúdos teóricos e técnicos, a fim de que se forme o substrato conceitual significante;
- Consolidação dos conhecimentos algorítmicos só é possível se os processos forem aplicados continuamente em disciplinas de projeto, com níveis progressivos de dificuldade;
- A adoção de modelos paramétricos facilita a implementação da aprendizagem colaborativa com disciplinas adjacentes, como as engenharias. Em nossa experiência, ambientes com alunos de diversas áreas costumam produzir bons resultados. Disciplinas mistas entre os cursos de arquitetura e engenharia seriam bem-vindas. Esse ponto é importante porque as tecnologias digitais são mais amplamente aceitas em áreas como as engenharias, além de já estarem presentes na educação básica. Se não for dada a devida atenção a essa questão, corremos o risco de formar profissionais obsoletos e incentivar abismos entre as profissões adjacentes;
- Alunos acabam subutilizando o potencial computacional tanto dos modelos paramétricos, quanto do potencial colaborativo do BIM e da fabricação digital. Quando muito, o Grasshopper é usado na automação de algum processo de desenho; o Revit (plataforma BIM) serve para extrair cortes e fachadas automaticamente e o corte a laser como estilete digital. Por outro lado, a maior parte dos professores de projeto ignora tanto as técnicas quanto as teorias das arquiteturas digitais, o que dificultaria a orientação de proposições com base nesses processos.

Finalmente, concordamos com Mark (*et. al.*, 2001) que uma mudança na cultura do design no que diz respeito a computadores pode ser possível somente se a incorporação da tecnologia ocorre em áreas que têm relação direta com o que nos preocupamos em arquitetura. Pensamos ser essencial que a educação de um arquiteto continue a ser focada em questões de construção e do lugar. Pode ser um bom ponto de partida a discussão sobre a estratégia adotada por José Duarte para a reformulação do curso de arquitetura da Universidade de Lisboa, onde a resposta para a inclusão de processos digitais por meio das disciplinas tecnológicas tem como base o projeto.

BIBLIOGRAFIA

Aksamija, Ajla, and Ivanka Iordanova. "Computational Environments with Multimodal Representations of Architectural Design Knowledge." International Journal of Architectural Computing 8.4 (2010): 439-460.

Alexander, Christopher. *Notes on the Synthesis of Form*. Vol. 5. Harvard University Press, 1964.

Ambrose, Michael A. "Agent Provocateur–BIM in the academic design studio."International Journal of Architectural Computing 10.1 (2012): 53-66.

Ayres, Phil, ed. *Persistent modelling: extending the role of architectural representation*. Routledge, 2012.

Bucci, Federico, & Marco Mulazzani. *Luigi Moretti: Works and Writings*. New York: Princeton Architectural Press, 2000.

Carpo, Mario. "Parametric Notations: The Birth of the Non-Standard."Architectural Design 86.2 (2016): 24-29.

Celani, Gabriela. "A importância da pesquisa na formação de docentes: o caso da “informática aplicada à arquitetura e urbanismo." Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo 7.1 (2008).

Celani, Gabriela; Vaz, Carlos Eduardo Verzola. "Scripts em CAD e ambientes de programação visual para modelagem paramétrica: uma comparação do ponto de vista pedagógico." Cadernos do PROARQ (2011): 1-1.

Clayton, Mark, et al. "Editorial: Formative Pathways| Changing Systems of Design-From Heuristics to Applications, Pedagogies, and Processes."International Journal of Architectural Computing 11.4 (2013): iii-viii.

Cook, Peter. Drawing: the motive force of architecture. John Wiley & Sons, 2014.

Duarte, J., Gabriela Celani, and Regiane Pupo. Inserting computational technologies in architectural curricula. the press, 2010.

Eisenman, Peter. Peter Eisenman: diagram diaries. Thames & Hudson, 1999.

Frazer, John. "Computing without computers." Architectural Design 75.2 (2005): 34-43.

Guillen, M.F.,The Taylorized Beauty of the Mechanical. Princeton University Press, Princeton and Oxford, 2006, 13.

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

Iordanova, Ivanka. "Teaching digital design exploration: form follows…."International Journal of Architectural Computing 5.4 (2007): 685-702.

Kieran, S. and Timberlake, J., Refabricating Architecture: How Manufacturing Methodologies Are Poised to Transform Building Construction, McGraw-Hill, New York, 2004.

Kolarevic, Branko, ed. *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. Taylor & Francis, 2002.

Kotnik, Toni. Digital architectural design as exploration of computable functions. *International journal of architectural computing*, 2010, 8.1: 1-16.

Kvan, T., Mark, E., Oxman, R., & Martens, B. Ditching the dinosaur: Redefining the role of digital media in education. Na (2004).

Lonna, F.C., Prelude. Mapping the Question:The Perspective Hinge, in: Pérez-Gómez A., and Pelletier, L., Architectural Representation and the Perspective Hinge, MIT Press, Cambridge, 1997.

Lynn, G., Animate Form, Princeton Architectural Press, New York, 1999.

Mark, Earl, Bob Martens, and Rivka Oxman. The Ideal Computer Curriculum. na, 2001.

Mayne,T., Change or Perish, Broshar, M., Strong, N. and Friedman, D. S., American Institute of Architects: Report on Integrated Practice,AIA,Washington DC, 2006, Section 1, 3-5.

Menges, A., & Ahlquist, S. (2011). Computational Design Thinking: Computation Design Thinking. John Wiley & Sons.

Menges, Achim. "The New Cyber-Physical Making in Architecture: Computational Construction." Architectural Design 85.5 (2015): 28-33.

Mey, Eliane Serrão Alves. "Bibliotheca Alexandrina." *Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação* 1.2 (2004).

Milicevic, Mladen. "Contemporary Education and Digital Technologies."*International Journal of Social Science and Humanity* 5.7 (2015): 656.

Mitchell, W. J. (1975). The theoretical foundation of computer-aided architectural design. Environment and Planning B, 2, 127-150.

Natividade, Verônica Gomes. *Fraturas metodológicas nas arquiteturas digitais*. Diss. Universidade de São Paulo, 2010.

Oxman, R.,Theory and design in the first digital age, Design Studies 2006, 17(3): 229–265.

Oxman, Rivka. "Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium." Design Studies 29.2 (2008): 99-120.

Pallasmaa, Juhani. "The thinking hand." *AD Primer, London,* 2009.

Passaro, Andrés; Henriques, Gonçalo Castro; "Abrigos Sensíveis, do método ao conceito, superando a instrumentalização", XIX Congresso SIGraDi, Informação Projeto para interação, Alice T. Pereira e Regiane Pupo (eds), Blucher Publishing, pp. 94-100, DOI 10.5151/despro-sigradi2015-30155.

Picon, Antoine. "Architecture and mathematics: Between hubris and restraint."Architectural Design 81.4 (2011): 28-35.

Picon, A. (2013). Digital design between organic and computational temptations. Architecture in formation: On the nature of information in digital architecture, 93-99.

Robbins, Edward, and Edward CULLINAN. *Why architects draw*. MIT press, 1994.

Roudavski, Stanislav. "Selective jamming: digital architectural design in foundation courses." International Journal of Architectural Computing 9.4 (2011): 437-462.

Schon, D. A.; & Wigging, G. (1992). Kinds of Seeing and Their Functions in Designing. Design Studies, 13(2), 135-156.

Sokal, Alan, and Jean Bricmont. Imposturas intelectuais. Editora Record, 1999.

Spiller, Neil. Drawing architecture. John Wiley & Sons, 2013.

Terzidis, K., Algorithmic Architecture, Elsevier, 2006.

Tschumi, Bernard. "Architecture abd Disjunction." Cambridge, MA. MIT Press (1994).

Yu, Rongrong, John Gero, and Ning Gu. "Architects' cognitive behaviour in parametric design." International Journal of Architectural Computing 13.1 (2015): 83-101.

Woodbury, Robert. "Elements of parametric design." (2010).