

PROJETO, PADRÕES E TECNOLOGIA

Da linguagem de Alexander à programação e inteligência artificial

**DESIGN, PATTERNS AND TECHNOLOGY:
From Alexander's language to programming and
artificial intelligence**

Giovanna Tomczinski Novellini Brígite¹

Resumo

As principais tendências do projeto arquitetônico mediado por computador têm sido regidas pelo Design Computacional e a Modelagem da Informação da Construção (BIM). Se, como alternativa, o design computacional proporciona inúmeras alternativas durante o processo de projeto, em contrapartida, BIM pode ter uma importante repercussão em prol de decisões qualificadas tomadas ainda na fase de concepção, posto que promete o processamento e integração de informações em Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) associando informações geométricas e não geométricas. Este ensaio contribui para áreas de Processo de Projeto e Arquitetura Digital, reavendo e discutindo questões apresentadas por correntes como o *Design Methods* (1960) e *Design Thinking* (1969), estimulando sua integração às alternativas digitais, já consolidadas (CAD, SGs) e ainda promissoras (BIM e AM), oportunizando escolhas assertivas de soluções projetuais com diversidade e similaridade semântica, através de métodos e algoritmos de tomada de decisão. Palavras-chave: processo de projeto, arquitetura digital, design computacional, modelagem da informação, parâmetros de projeto.

Abstract

The main trends in computer-mediated architectural design have been governed by Computational Design and Construction Information Modeling (BIM). If, as an alternative, computational design provides numerous alternatives during the design process, in contrast, BIM can have an important repercussion in favor of qualified decisions taken even in the design phase, since it promises the processing and integration of information in Architecture, Engineering, Construction and Operation (AECO) associating geometric and non-geometric information. This essay contributes to areas of Design Process and Digital Architecture, reviving and rediscussing issues presented by currents such as Design Methods (1960) and Design Thinking (1969), stimulating their integration with digital alternatives, already consolidated (CAD, SGs) and even promising (BIM and AM), enabling assertive choices of design solutions with diversity and semantic similarity, through decision-making methods and algorithms. Keywords: design process, digital architecture, computational design, buildig information modelling, patters.

¹ Arquiteta e Urbanista (UNICAMP-2010). Mestre e Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura Tecnologia e Cidade (UNICAMP-2013/19). Tem experiência em incorporação, coordenação, planejamento e desenvolvimento de projetos com foco para a indústria da construção civil. Atualmente, desenvolve pesquisas sobre o futuro do ambiente construído e tecnologias disruptivas abordando os impactos no processo de projeto e ensino. Coordena o curso de Arquitetura e Urbanismo e o CIT - Centro de Inovação e Tecnologia em Cidade e Construção do Instituto de Pesquisa Facens. Membro do Diretoria da ABEA (20/21).

Projetar em arquitetura

Os anos 60 foi um marco para os movimentos voltados ao processo de projeto, desde então, um esforço contínuo sobre a natureza do projeto arquitetônico tem envolvido diversos pesquisadores, de vários campos, à análise dessa questão sob diferentes prismas. Inúmeras definições revelaram-se demonstrando a complexidade envolvida. No entanto, mesmo em meio à pluralidade interpõe-se um consenso sobre a existência do contexto e da forma na atividade projetual.

Por este ângulo, o projeto em arquitetura, aflora do empenho em materilaizar a solução formal de um problema pré-estabelecido, aplicado a um contexto definido. Sendo assim, ao arquiteto cabe estabelecer diferentes delineamentos em busca de resultados funcionais na conformação entre o contexto e a forma. De acordo com Alexander (1964), a forma é a solução para o problema; o contexto define o problema. De outra maneira, quando nos referimos ao projeto, o verdadeiro objeto de discussão não é só a forma, mas o conjunto da forma e do seu contexto.

Moreira (2007) define o contexto como a situação que envolve o edifício e tudo aquilo que constitui o ambiente onde o edifício opera. Não apenas uma situação física, limitada por uma área, um terreno e suas características geográficas, mas todas as situações de uso, culturais, urbanas, estruturais e assim por diante. Ao mesmo tempo que a forma é a parte do mundo que pode-se criar, alterar e controlar. Isto posto, a definição do problema torna-se imprescindível na materialização da solução.

Raramente a materialização da solução para um mesmo problema será idêntica entre arquitetos distintos, dado que a resposta ao problema projetual encontra-se entre as fronteiras da criação associadas às técnicas de racionalização dos problemas, que não possuem métodos rígidos ou universais entre profissionais, muito embora possam ser atestados alguns procedimentos comuns entre projetistas (KOWALTOWSKI *et al.*, 2006).

Endossando esse pensamento, Andrade (2012) incorpora os obstáculos na descrição de procedimentos, por geralmente apresentarem-se de modo superficiais e indicarem a criatividade como preponderante no processo de projeto, interpretando-a ainda como uma prática estática; e, a variedade e complexidade do processo de projeto, que levam os profissionais a aplicarem métodos mais sistemáticos e explícitos, ou pouco sistemáticos e subjetivos.

Anuindo que a maior dificuldade no projeto arquitetônico equivale a descrever e responder objetivamente a problemas complexos, o que gera um grande conjunto de variáveis, Flório (2009) infere que somente quando se tem um método, com regras definidas, é que se pode sistematizar intencionalmente a investigação sobre o projeto que está sendo realizado. Assim sendo, é através da descrição de um procedimento cujo objetivo é orientar uma conduta, tanto de raciocínio quanto de experimentação, que a complexidade do processo de projeto pode ser suportada mediante a utilização de métodos de controle e planejamento do processo cognitivo (KOWALTOWSKI *et al.*, 2006).

De acordo com Rosso (1980), o projeto arquitetônico integra a família de processos de decisão, podendo assim utilizar a descrição verbal, gráfica ou simbólica, isto é, diversos instrumentos de informação, para prever analiticamente um modelo e sua performance.

Nessa perspectiva, diversas sistemáticas podem ser aplicadas objetivando redução de tempo e aumento da qualidade da solução. A tecnologia quando empregada ao

processo de projeto também contribui neste sentido, e pode ser reconhecida tanto no processo analógico quanto no digital. No entanto, distinguem-se, quanto ao propósito. No projeto analógico, relaciona-se exclusivamente à representação, ao passo que no digital, a todas as etapas do processo projetual.

Embora a representação seja incontestavelmente essencial ao arquiteto por estar associada diretamente à elaboração do pensamento de projeto, ou ainda por ser capaz de promover decisões através da informação que incorpora. A transformação provocada pela implementação de ferramentas computacionais no processo digital é ainda mais impactante que no processo analógico.

No processo analógico, que constituem a base de criação tradicional da arquitetura feita por intermédio de analogias ao objeto real através de esquemas, croquis, maquetes físicas e pela representação em várias escalas de planos bidimensionais da edificação (plantas, cortes e fachadas), as ferramentas computacionais são aplicadas para representação de um desenho analógico em meio eletrônico, ou ainda como apoio para a confecção de maquetes físicas por meio de equipamentos que contribuem na sua elaboração. Retrato do processo que prevalece entre a maior parte dos profissionais ainda hoje.

Em contra partida, o processo digital engloba não apenas a aplicação de ferramentas digitais, mas uma autêntica transformação no processo de projeto da concepção ao detalhamento da execução, principalmente por ser feita através de descrições matemáticas de relações entre objetos decodificados em linguagem computacional, capazes de permitir explorações algorítmicas.

Os produtos gerados pelo processo digital foram reconhecidos como “arquiteturas digitais” (ZELLNER, 1999) ou ainda, por “*arquitetura gerada por técnicas digitais ou nas quais se intervém as ferramentas digitais*” (BRUSCATO PORTELLA, 2006, p.3). As duas definições convergem para o “*digital design*” (OXMAN, 2006), onde digital está presente na concepção e intrínseco a ela, envolvendo o processo e não apenas a representação de seus produtos.

Independentemente do processo adotado, analógico ou digital, a solução projetual invariavelmente deverá responder aos critérios pré-estabelecidos mediante a variação dos parâmetros relevantes. Ainda que a palavra *parâmetros* atualmente remeta diretamente à parametrização, o projeto arquitetônico abrange tanto parâmetros dimensionáveis, passíveis de parametrização, como não dimensionáveis, que indubitavelmente serão sujeitos à escolha do arquiteto.

Como expõem Sedrez e Celani (2014), no processo digital a seleção das formas e dos parâmetros está sujeita a sensibilidade cognitiva do arquiteto. Tais habilidades cognitivas, nesse processo, são aguçadas pelo emprego de ferramentas e recursos matemáticos e geométricos, como os algoritmos.

O computador no processo de projeto

Desde o princípio da arquitetura ocidental, no classicismo grego, o arquiteto não fez edifícios; ao invés disso, ele produziu representações que possibilitaram sua execução (PELLETIER, 1997).

As representações constantemente vincularam-se aos artefatos acessíveis historicamente para concebê-las. Tanto os desenhos, como os modelos tridimensionais, adiante, os modelos digitais manifestam o conhecimento científico

acerca da nossa habilidade de entendimento e representação espacial, por esta razão não são ferramentas neutras. O que muda e evolui são as visões artísticas e a nova forma de se apropriar das tecnologias sugeridas (NATIVIDADE, 2010).

O emprego do computador no projeto arquitetônico, desde o princípio, fomenta debates acerca das metodologias de projeto, devido a natureza distinta entre as linguagens presentes no modelo digital e desenho feito à mão. Enquanto, para alguns pesquisadores ele inibe a capacidade criativa do arquiteto, para outros, o computador pode auxiliar na síntese da forma arquitetônica (STEELE, 2001; KOLAVERIC, 2003; PIÑON, 2006).

Lawson evidencia que apesar da maior parte dos projetistas utilizarem o computador, muitos empregam a ferramenta meramente na produção de representações, e não para projetar. Evento interessante, visto que o desenho cumpre uma função primordial no processo criativo de projeto. Para o autor, é neste ponto que fundamentamos umas das principais críticas dos sistemas CAD, sua predisposição em assegurar a resolução e a manutenção de um modelo único do edifício, ao invés de promover a incerteza criativa da fase inicial do processo (LAWSON, 1997).

Este contraponto relaciona-se diretamente ao modo de utilização da ferramenta e não da tecnologia propriamente dita, como ressalta Helio Piñon (2006):

[...] o computador, ao mesmo tempo em que oferece a um incompetente os meios para perverter definitivamente o projeto, proporciona os instrumentos para enfrentar a concepção e a verificação do projeto em condições inimagináveis até pouco tempo.

Neste ensaio, acredita-se que o processo de projeto em arquitetura, por sua grande complexidade e diversidade, tem nas tecnologias computacionais incorporadas ao seu desenvolvimento um fator de relevância fundamental. Fator que acompanha proporcionalmente os níveis de produção arquitetônica, propostos por Steele (2001):

Primeiro: método tradicional de concepção analógica onde o computador é utilizado apenas para representação de produtos finais;

Segundo: fortemente embasado por princípios tradicionais, mas intrinsecamente dependente do computador para materialização;

Terceiro: espécie de “processo híbrido” de concepção. Diversas mídias digitais e analógicas são revezadas na geração da forma;

Quarto: mais radical, onde o computador é usado como “alter-ego” (STEELE, 2001) no processo de geração da forma através das investigações algorítmicas.

Entretanto, os debates acerca das metodologias associadas ao uso de computadores abrangem não apenas sua aplicação, como também o nível de interatividade com os usuários. Por isso, recentemente, a mídia de projeto e a interatividade têm sido exploradas como temáticas em projeto. Faz-se, portanto, importante nesta ocasião a conceituação e caracterização destes dois termos.

A *mídia* é conceituada por Ataman (2000) como um aparelho para selecionar, reunir, organizar, armazenar, e transmitir o conhecimento em formas representacionais. Mais especificamente, a mídia é uma ferramenta, ou combinação de ferramentas

utilizadas para gerar representações gráficas como desenhos, imagens ou modelos.

Já a *interatividade*, de acordo com Oxman (2006), pode ser apresentada em quatro níveis:

- (1) Interação com uma forma livre (representação baseada em papel – não digital): o projetista interage diretamente com uma representação do objeto visualmente através de um desenho ou modelo físico.
- (2) Interação com construção de representação digital: o projetista interage com CAD por meio de um desenho digital, Em formato 2D ou 3D.
- (3) Integração com uma representação digital gerada por um mecanismo: o projetista interage com CAD através de um conjunto de regras e relações (espaciais) para formar um mecanismo para gerar uma estrutura digital.
- (4) Integração com um ambiente digital que gera uma representação digital: o projetista interage com “a parte operativa de um projeto generativo”. Onde o projetista pode interagir com o mecanismo computacional que gera a representação digital.

Evolução do uso do computador no projeto arquitetônico

O início da relação homem-computador remonta ao desenvolvimento das interfaces gráficas na década de 60. O primeiro programa de Desenho Assistido por Computador (CAD), surge em 1963 a partir da *máquina de desenhar* de Ivan E. Sutherland desenvolvido para sua tese de doutorado no MIT. A interface desenvolvida por Sutherland possibilitou a representação interativa de elementos geométricos em um monitor de computador, tornando-se inspiração para uma interface mais aprimorada desenvolvida por Newman, em 1966 (MITCHELL, 1977).

Mitchell (1977) evidencia *Notes on the Synthesis of Form* (1964) como um dos principais marcos na pesquisa de metodologia do projeto arquitetônico, pela inspiração que é despertada através da utilização de métodos sistemáticos fundamentados em computação. Por intermédio dessa publicação Christopher Alexander propõem a racionalização lógica em prol da tomada de decisão em detrimento ao processo arbitrário de projeto, associando a forma ao contexto. Posteriormente, seu trabalho tocou-se base conceitual promovendo importantes contribuições às arquiteturas digitais, como parametrização, os sistemas generativos e as gramáticas da forma (NATIVIDADE, 2010).

Embora o destaque da representação arquitetônica por meio do desenvolvimento das interfaces gráficas estar cronologicamente associado à introdução dos novos conceitos metodológicos, início da década de 60, apenas no final da década de 1970 que a prática da Arquitetura auxiliada por computador estabeleceu-se de fato, por intermédio da integração do projeto assistido por computador em programas pedagógicos (DOLLENS, 2002). Inicia-se neste período, o que Kalay (2004) identifica como a Primeira Geração dos sistemas CAD de projeto.

Em virtude da robustez imposta pelos primeiros computadores associado ao alto valor agregado, a utilização dos equipamentos restringia-se aos centros de pesquisa,

como por exemplo, o Institute for Physical Planning at Carnegie Mellon University, desenvolvedor do *Building Description System* (BDS), um modelador associado a uma grande base de dados e configura-se um dos termos precursores à Modelagem de Informação da Construção (BIM). Sucessivamente, o sistema foi alterado para *Graphical Language for Interactive Design* (GLIDE), baseando-se em uma linguagem de programação habilitada no suporte à manipulações geométricas por meio de descrições paramétricas. No Reino Unido, o desenvolvimento esteve associado a grandes projetos públicos, investindo na coordenação modular e componentes para edifícios industrializados (KALAY, 2004).

Conceitualmente a notável contribuição deste período corresponde à transformação do papel do computador no processo de projeto. Primeiramente tido como um sucessor, ele adquire o status de *assistente inteligente*, promovendo a realização de tarefas mais frequentes, desonerando o arquiteto para atividades mais significativas como a tomada de decisão (MITCHELL, 1977).

A proposta de colaboração através do diálogo entre o arquiteto e a máquina arquitetônica, é o debate central do livro *The Architecture Machine* (1970). Nele Negroponte fortalece o potencial presente na introdução dos métodos científicos e quantificáveis, como os identificados por Alexander, todavia exaltando a cooperação e não substituição, adverso ao posicionamento de Alexander:

A machine, meanwhile, could procreate forms that respond many hereto un-manageable dynamics. such a colleague would not be an omen of professional retirement but rather a tickler of the architect's imagination, presenting alternatives of form possibly not visualized or not visualizable by the human designer (NEGROPONTE, 1970 *apud* KOLAVERIC, 2003).

Marcada pelo surgimento dos computadores pessoais, a segunda geração, distingue-se pelo aumento advindo da redução dos custos das tecnologias agregadas. Nessa geração o significado do CAD associava-se mais ao Desenho assistido por computador (*Computer Aided Drawing*) de que ao Projeto Assistido por Computador (*Computer Aided Design*). De fato, durante a primeira geração os sistemas voltaram-se para o projeto arquitetônico propriamente dito, na segunda geração o destaque volta-se ao desenho e modelagem (KALAY, 2004).

Semelhantes à primeira geração, a terceira recupera os sistemas CAD designados ao apoio do processo de projeto, não somente à representação de edifícios. Entretanto, os progressos adquiridos ao longo das duas décadas de pesquisa propiciaram ferramentas CAD mais inteligentes, refletindo em pesquisas nas áreas de parametrização, programação de objeto orientado, inteligência artificial e sistemas de gerenciamento de banco de dados; corroborando e oportunizando processos de projeto digital (KALAY, 2004).

Concomitantemente ao desenvolvimento apresentado emerge a quarta geração, onde a investigação formal ocorre através do meio digital, demandando importantes transformações na metodologia do processo arquitetônico (OXMAN, 2006).

Como considera Kolarevic (2003), na quarta geração, o arquiteto ausenta-se da modelagem formal e passa a articular uma lógica para promover a geração da forma. Podendo assim produzir automaticamente inúmeras possibilidades formais, dentre as quais, deve-se escolher a mais adequada ao desenvolvimento.

Neste cenário, Oxman (2006) apresenta a necessidade da diferenciação conceitual

entre Projeto Assistido por Computador, essencialmente embasado em reproduzir o processo analógico baseado no papel, e Projeto Arquitetônico Digital (OXMAN, 2006).

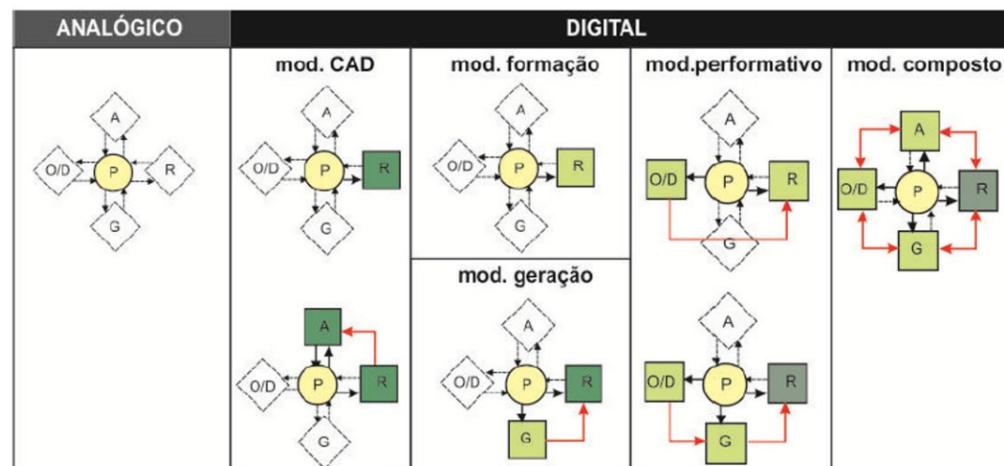
Na investigação do Projeto Arquitetônico Digital Oxman (2006) apresenta cinco modelos como proposta de situar os novos paradigmas de projeto digital. Consequência da sua dedicação em prol da elucidação do termo: *projeto digital* e da busca por novos paradigmas de projeto, fundamentando-se na investigação de conceitos teóricos de arquitetura digital (STEFANI, 2014).

O relacionamento do arquiteto com as ferramentas digitais para o exercício da síntese projetual evidenciada pelos modelos de Oxman permite-nos identificar quatro modelos para o projeto digital: CAD descritivo com processo digital bidirecional, de Formação, Generativos e de Desempenho. Descartam-se os outros modelos CAD por apenas refletirem a evolução das tecnologias como assistentes ao projeto; e, os Modelos compostos por representarem somente uma intenção.

Para a autora, o arquiteto deve assumir o papel de desenvolvedor de ferramentas de personalização da mídia de projeto, principalmente devido ao crescente desenvolvimento da mídia de projeto digital e sua habilidade de operar de maneira integrada e interativa.

Sendo assim, entender os métodos, técnicas e ferramentas à luz de como os projetistas interagem com os componentes do projeto digital é uma maneira segura para a compreensão das estruturas de projeto digital (ANDRADE, 2012).

Baseado em Oxman, Andrade (2012) apresenta sete diferentes modos de representação dos múltiplos processos de projetos digitais. A Figura 1 apresenta o modelo analógico e os sete modelos de projetos digitais.



Como forma de operacionalizar os modelos digitais expostos têm-se o Design computacional. Fundamenta-se que a arquitetura não mais é criada exclusivamente pelo arquiteto, mas sim por intermédio de ferramentas computacionais que o apoiam no processo de síntese.

Apesar do uso do computador ser inerente ao conceito apresentado, os padrões que retratam esse processo foram identificados em explorações que antecedem a existência deste, como demonstram Godoi (2018) e Neves (2015), já haviam investigações formais decorrentes da operacionalização de um ou mais algoritmos. Ainda que as edificações consideradas pelas autoras, Alberti (GODOI, 2018) e

Rittel (NEVES, 2015), representem a concepção analógica, refletem claramente um método de pensamento como aplicado no design computacional. Ou seja, o projetista, mesmo sem o auxílio do computador, assume a responsabilidade por identificar e estabelecer regras capazes de possibilitar a concepção.

Neves (2015) salienta que o projetista volta-se para a criação de espaço(s) de possibilidades, identificando o problema, decodificando-o e adaptando-o, e neste sentido, assume o domínio das regras e não da forma propriamente dita. A ferramenta computacional apenas amplia a capacidade de processamento de informações e dados, potencializando o número de variações destas regras.

Desta forma, os Sistemas Generativos (SGs), possibilitam a geração de múltiplas alternativas, podendo ser empregado como um processo exploratório analógico ou potencializado através de recursos digitais. As convicções aplicadas aos SGs derivam das ciências matemáticas e computacionais e têm os conhecimentos necessários para a geração de formas em geral associados à teoria da complexidade (SEDREZ, 2018), como por exemplo a gramáticas generativas (Gramática da Forma), auto-organização (Autômatos celulares) e geração e crescimento algorítmico (Fractais).

Christopher Alexander e sua linguagem de padrões como método projetual

Como parte da 1ª geração de pensamento sobre metodologia projetual e legítimo representante do Design Methods Movement (1960) Christopher Alexander desenvolveu um processo de projeto sistemático, baseado na teoria de probabilidades e grafos, precisando de um computador para sua aplicação.

Concentrando-se no relacionamento estabelecido entre a forma e o seu contexto, empregou uma técnica de decomposição identificando quais questões num problema projetual podem ser consideradas como subproblemas embasado em uma análise pautada nas relações entre as variáveis integrais de projeto (LOVE, 1997). Este método foi saudado como um significativo progresso no debate acerca do projeto sistemático. Contudo, mesmo que aparentasse ser automático, estava subordinado à habilidade do arquiteto em reconhecer e distinguir as variáveis imprescindíveis e seu relacionamento aos elementos de projeto.

Reconhecendo as limitações epistemológicas e ontológicas implícitas ao seu processo de desconstrução, Alexander publica um novo método projetual mais sofisticado: *A Pattern Language: Towns – Buildings – Construction* (1977) e *The timeless way of building* (1979).

O livro *A Pattern Language* foi publicado como colaboração de Sara Ishikawa e Murray Silverstein, entre outros. A abrangência das discussões introduzidas repercutiu na época, e repercute até hoje, em diversas áreas, não apenas na Arquitetura, mas também na Matemática e Ciência da Computação.

A Pattern Language reúne 253 parâmetros, relacionáveis entre si, e que constituem uma rede constituída por uma lista explicativa de ocorrências recorrentes em situações projetuais, caracterizadas por meio de parâmetros, enriquecidas pelo arquetípico, na forma gráfica, que elucida o problema e a essência da solução (VAN DE VOORDT; VAN WEGEN, 2005). Os parâmetros apresentados almejam contribuir para atingir a “qualidade sem nome”, fenômeno identificado em “*The timeless way of building*” (ALEXANDER, 1979).

Face às relevantes críticas recebidas, voltadas ao questionamento científico

Figura 1. Classes e subclasses de modelos de projeto digital propostos por Oxman (2006). Fonte: ANDRADE, M. Processo digital de geração da forma baseada no desempenho e com suporte em building information modeling. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2012. 399 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2012. p. 279.

dos parâmetros ou ainda a negação da legitimidade de um pluralismo de valores em arquitetura, pesquisadores como Barros e Kowaltowski (2013) destacam a contribuição dos parâmetros ao demonstrar uma conexão direta à experimentação humana do ambiente construído, interpretada por um senso comum e entendimento natural.

A iniciativa pioneira constatada por Barros e Kowaltowski (2013) sobre *A Pattern Language* envolve a estruturação dos dados da associação ser humano-ambiente para prover soluções projetuais, almejando conectar, sistematicamente, elementos arquitetônicos ao comportamento humano. Atributo significativo para este ensaio, porquanto os parâmetros projetuais identificados podem colaborar como significativo material de referência na elaboração de algoritmos qualificados a explorar novas soluções projetuais com ênfase na associação ser humano-ambiente, através de tecnologias que permitem BIM.

A contribuição propriamente dita envolve a integração do conhecimento qualitativo no processo de projeto digital, através da aplicação do modelo gramaticalmente transformativo, para garantir que a busca de soluções de qualidade ser humano-ambiente no processo de projeto possa ser auxiliada pelo conhecimento existente sem, no entanto, mecanizá-lo a ponto de impossibilitar o afloramento de novas ideias. Pois, neste ensaio, acredita-se ser possível a aplicação de diversas ferramentas que proporcionem diferentes contribuições à concepção projetual, integrando processos digitais ao conhecimento qualitativo e sua sistematização criativa.

Retomar a metodologia, ou as soluções, apresentadas por Alexander permite-nos ressaltar reflexões e condutas atuais de projeto propostas por diversos pesquisadores em qualidade ambiental (BARROS; KOWALTOWSKI, 2013; OLIVEIRA E SOUSA; MOREIRA 2013).

Apesar da tradução para a língua portuguesa considerar *pattern* como *padrão*, o conteúdo e o caráter propositivo dos *patterns* indicam sua interpretação enquanto parâmetros de projeto, no sentido de serem elementos cuja variação de valor contribui e orienta a solução de um problema no todo sem lhe modificar a natureza (BARROS; KOWALTOWSKI, 2013).

Alexander *et al.* (1977) definem a linguagem apresentada como uma possibilidade e não a única, salienta ainda que linguagens refletem cada época por serem dinâmicas. Desta forma, destacam dois objetivos principais: o primeiro engloba a possibilidade de infinitas combinações; o segundo, a premissa de que o arquiteto deve considerar as condicionantes locais fomentando a adequação e/ou promoção de novos *patterns*, criando assim relevância e atemporalidade das contribuições feitas.

A Pattern Language e Building Information Modeling

Sequeira (2007) apresenta a concepção arquitetônica proposta por Alexander, desde o início, como a construção de uma linguagem de estrutura formal funcionalista, por isso programável e algorítmica, cuja discriminação varia da função focada sobre a concepção do objeto, produção-exigências, para a função focada sobre o sujeito, fruição-necessidades. Tendo a estrutura de processamento origem no conceito de *problem solving*, e como objetivo da efetiva programação daquilo que hoje é o trabalho criativo humano.

O autor comprova o fato de o sistema da *pattern language* ter uma utilização cada vez maior nas investigações informáticas desde a própria estrutura de programas

evolutivos, até aos *object oriented design* ligados à investigação da Inteligência Artificial, passando pelo conceito de *Patterns*, como uma disciplina de engenharia informática para a resolução de problemas (SEQUEIRA, 2007).

Enquanto originalmente a *pattern language* tenta modelar o conhecimento com informações, a maioria dos modelos orientados, bem como o BIM, simplesmente pretendem modelar informações de valor presumido em ambiente sem contexto (OZEL, 2007).

Neste sentido, muitos pesquisadores (EASTMAN, 1999; OZEL, 2000) têm se empenhado para definir modelos digitais, de edificações, no intuito de analisá-los tal como pertencem ao ambiente construído. Além disso, dedicam-se à padronização da modelagem, ao desenvolvimento do IFC (*Industry Foundation Classes*) e do IAI - (*Industry Alliance for Interoperability*), no intento de favorecer a integração e interoperabilidade entre os modelos.

A principal diferença entre os esforços relacionados à BIM e à *pattern language* é que enquanto o primeiro aborda a questão como um estímulo para modelar objetos do mundo real de maneira imparcial, Alexander et al. (1977) incluem suas experiências, como projetistas, sob a forma de *patterns*, abordando considerações sobre o problema e a solução, permitindo assim a incorporação do conhecimento tácito em ferramentas de projeto.

Desta maneira, podemos observar que o potencial da *pattern language* emerge relacionado à BIM e fomenta a possibilidade de incorporação do conhecimento da relação ser humano – ambiente à modelagem da informação.

BIM e Aprendizado de Máquina

O conceito BIM envolve principalmente processos, tecnologias e pessoas. BIM objetiva uma prática de projeto integrada, de modo que todos os agentes de AECO alinhem seus esforços na elaboração de um “modelo único” de edifício (RUSCHEL, 2014).

Em BIM, o arquiteto trabalha a modelagem orientada a objetos por meio de relações paramétricas. Ruschel (2014) resalta dois benefícios da modelagem em BIM ser orientada a objetos. O primeiro vincula-se ao fato do modelo ser constituído por objetos inteligentes, com informação, forma e função, agregando desta forma regras capazes de garantir sua consistência. O segundo benefício é a possibilidade do reuso de modelos pelas ferramentas que permitem BIM. Todavia, a autora indica como desvantagem o fato de cada especialidade do projeto exigir um sistema específico de modelagem BIM.

O projeto concebido por intermédio de parâmetros impõe a organização de diversas regras aplicadas à criação do modelo, uma vez que os elementos geométricos são definidos por suas variáveis mutáveis. Assim sendo, o modelo paramétrico atua como um sistema de informação interligado que tem a capacidade de reagir às alterações específicas que ocorrem em suas partes. Ou seja, durante a geração da forma, a manipulação dos parâmetros incorporados oferece a possibilidade de obter diversos ajustes seguindo a mesma intenção inicial do projeto (BRÍGITTE, 2019).

No que se refere ao à concepção do projeto arquitetônico, novos progressos em inteligência artificial, envolvendo o Aprendizado de Máquina (AM), possibilitaram abordagens inovadoras mediante processos, métodos e algoritmos de apoio à

tomada de decisão em dois ramos da arquitetura digital: o design computacional e a modelagem da informação da construção.

Um modo de apoio aos projetistas durante a concepção do projeto arquitetônico, envolve a classificação de padrões por AM que combina um conjunto de métodos para identificar automaticamente padrões latentes de dados, com a intenção de presumir dados futuros ou efetivar decisões sob incerteza (RADZISZEWSKI; WACZYŃSKA, 2018). Diversas maneiras são capazes de classificar padrões através do AM, no entanto, cada uma está sujeita ao tipo de aprendizado: supervisionado, não supervisionado ou por reforço.

A Clusterização, é um exemplo, de classificação não supervisionada. Nessa classificação os dados são agrupados, através de um algoritmo, em subgrupos (clusters) por possuírem certa semelhança independente de classes pré-definidas.

Um dos algoritmos de clusterização mais tradicionais, chama-se k-means cujo nome expressa exatamente sua função, visto que o algoritmo identifica k clusters distintos num conjunto de dados. O algoritmo realiza de maneira interativa associações de cada dado ao centro de cada cluster considerando média dos valores neste conjunto; na sequência, incrementa a média entre todas as distâncias relacionadas ao cluster equivalente até que se estabilize. A qualidade dos agrupamentos obtidos pode ser aferida por duas análises específicas, a primeira pela caracterização dos agrupamentos, quanto maior a distância entre si, melhores, a outra, pela distância entre dos dados de cada subgrupo, quanto maior a proximidade, melhor. A operação desse algoritmo remete à proposição de Alexander em *Notes on the Synthesis of Form* (1964).

A clusterização hierárquica apresenta-se como outra forma de classificação, porém distinta do exemplo anterior, que estabelece conjuntos desarticulados, através do agrupamento hierárquico podemos dividir os dados em ordens, subordens, famílias, subfamílias, até que se determine uma instância individual.

A forma de representação mais comum ao agrupamento hierárquico corresponde à uma árvore, e é denominado dendograma, apresentando como os dados são agrupados. O dendograma é um dos tipos de estruturação de conjuntos apresentados por Alexander em *City is not a tree* (1966) onde a escolha de subconjuntos por si só dota a coleção de subconjuntos como um todo com uma estrutura geral (BRÍGITTE, 2019).

A Figura 2 ilustra a estrutura de conjuntos apresentadas por Alexander, à esquerda, expressa uma ordenação crescente, de maneira que sempre um conjunto contém outro, desta forma cria-se um caminho vertical levando de conjunto a outro, enquanto à direita, observa-se uma semitreliça na qual cada nó filho pode pertencer a mais de um nó pai, revelando interseções nos galhos das árvores e nos conjuntos.

A teoria de *A Pattern Language* advém da revisão de diagramas por Alexander implementando a substituição do conceito genérico de diagrama para o parâmetro de projeto cuja relativa independência possibilita relembrar outros sem comprometer sua ocorrência, indicando assim uma estrutura hierárquica em formato de cascata. Atualmente pesquisadores concentram-se no desenvolvimento de processos que permitam métodos voltados ao aprendizado de máquina tanto para o enriquecimento semântico dos projetos arquitetônicos em BIM como capazes de facilitar a revisão de modelos (SACKS *et al*, 2019).

Belsky *et al* (2016) apresentam um método de enriquecimento semântico para BIM

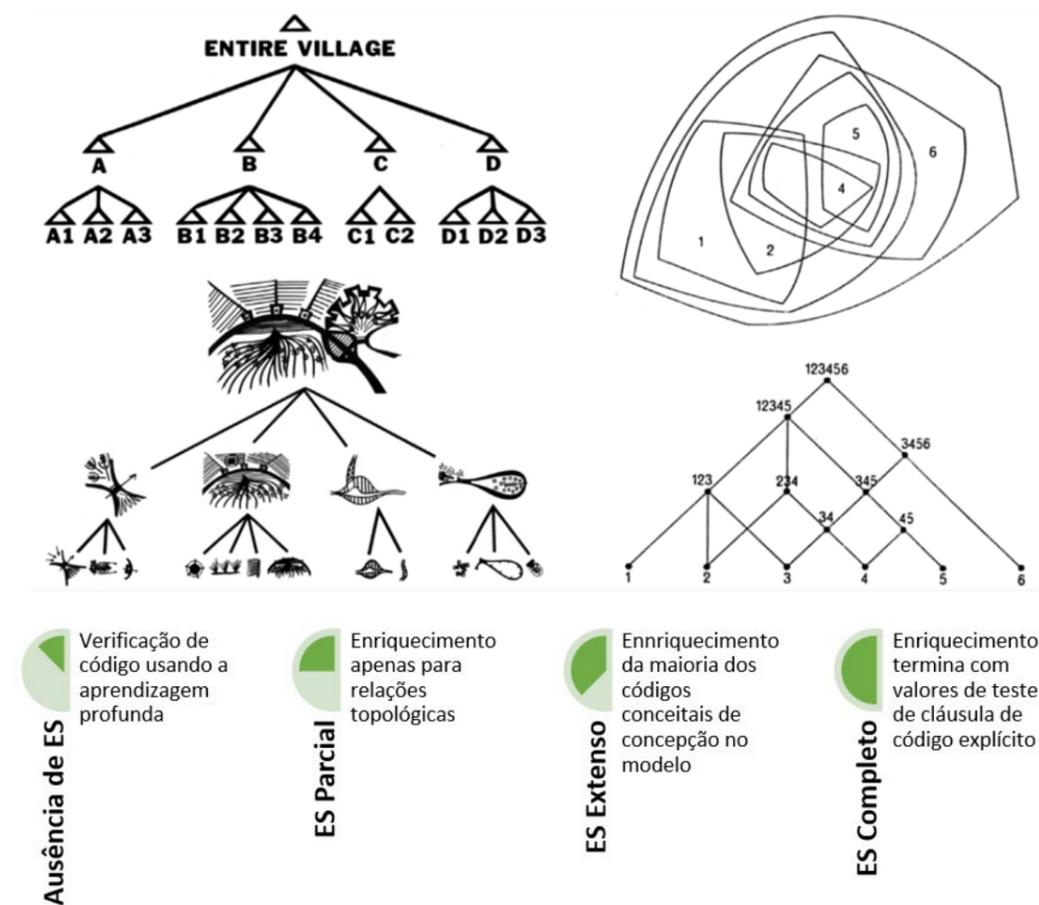


Figura 2. Diagramas de Análise e Síntese da Forma e Semitreliça (Alexander, 1964; 1966). Fonte: Esquerda: árvores de análise e síntese da forma, In: Alexander, C., Notes on the Synthesis of Form. Cambridge, Harvard University Press, 1964, 151 and 153. Direita: Semitreliça, In: Alexander, C., A City is Not a Tree, Design, 206, 1966.

Figura 3. Espectro de possibilidades para sistemas automatizados de análise de projeto AI BIM. Fonte: Adaptado de SACKS, R. et al. Automating Design Review with Artificial Intelligence and BIM: State of the Art and Research Framework. In: Computing in Civil Engineering 2019: Visualization, Information Modeling, and Simulation. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2019. p. 353-360.

em busca da implementação de uma abordagem baseada em topologia e geometria voltada a criação de arquivos para modelos de construção semanticamente úteis baseados em informações implícitas e explícitas presentes na construção de uma edificação. O enriquecimento semântico para BIM acrescenta aos modelos de construção, em IFC, as propriedades semânticas necessárias.

Seja qual for o procedimento, tanto no enriquecimento semântico (ES) como na verificação de código, a definição do método de aprendizado de máquina ou baseado em regras dependerá do investimento no desenvolvimento, que por sua vez seguirá variáveis como o esforço necessário para formular conjuntos de regras, a complexidade da lógica, o grau de interpretação implícita necessário e a disponibilidade de dados para o aprendizado, como ilustra a Figura 3 (SACKS *et al*, 2019).

Evidencia-se que a aplicação da tecnologia ao ambiente construído contribui de diferentes formas no processo desde a concepção do projeto arquitetônico, como por exemplo, na síntese (AS, *et al*, 2018; NISZTUK; MYSZKOWSKI, 2019), passando pela verificação (HU, 2018; SACKS *et al*, 2019), gamificação (SAVOV *et al*, 2016), ou ainda na própria fabricação (TAMKE *et al*, 2018).

Exclusivamente em IA, o envolvimento da tecnologia ao ambiente construído tem avançado cada vez mais do auxílio eficaz para as etapas criativas dos projetos ao monitoramento da execução e gestão de facilidades através de rotulagem de dados (BRAUN; BOORMAN, 2019), além de proporcionar sistemas adaptativos, onde a interação com os usuários e o próprio meio proporcionam ambientes construídos responsivos amplificando o processo projetual ao longo do ciclo de vida da edificação. Como exemplares de arquiteturas responsivas podemos apresentar o projeto de fachada solar adaptável que reúne e associa técnicas de arquitetura sustentável,

robótica, computação onipresente e aprendizado de máquina, avançando em direção à sistemas arquitetônicos com capacidade de aprender com a experiência, ou seja, sistemas arquitetônicos adaptáveis (ROSSI *et al*, 2012), ambientes interativos e habilitados no fornecimento de respostas ambientais discretas com transições e suaves e contínuas em um contexto sensível, através do aprendizado de máquina, para o apoio a tomada de decisão a partir de avaliação de estado (OUNGRINIS; LIAPI, 2014); ou ainda como sistemas capazes de gerar projetos urbanos (MIAO *et al*, 2018).

Considerações finais

A operacionalização para viabilizar o uso de parâmetros de projeto em modelos BIM para a análise e avaliação das alternativas promovidas por sistemas generativos ainda é um campo escassamente explorado. Ainda assim, a contribuição em possibilitar a algoritmização de dados da relação ser humano-ambiente para prover soluções projetuais, buscando conectar, de forma sistemática, o comportamento humano a elementos arquitetônicos, foi demonstrada por Brígite (2019) no auxílio a tomada de decisão frente as inúmeras derivações provenientes de sistemas generativo, apresentando-se assim como um importante campo a ser explorado.

Infere-se que a utilização de parâmetros de projeto em ambiente digital, ou parâmetros qualitativos, associados ao modelo de informação permitem a gestão das informações, sejam elas geométricas ou não, desde o início do processo projetual, fomentando a integração em sua completude no processo de projeto. Estimula-se desta forma o uso da tecnologia no subsídio a decisões qualificadas tomadas ainda na fase de concepção.

Por fim, entende-se que o Enriquecimento Semântico de BIM é indispensável para a avaliação de projeto em todo o ciclo de vida de uma edificação. Seja voltado às exigências do programa de necessidades; do próprio programa, dos requisitos e diretrizes de qualidade, voltado ao orçamento, normas e outras exigências (VOORDT; WEGEN, 2013).

Referências

- ALEXANDER, Christopher. *Notes on the Synthesis of Form*. Harvard University Press, 1964.
- ALEXANDER, Christopher; ISHIKAWA, Sara; SILVERSTEIN, Murray. *A Pattern Language*. New York: Oxford Univ., 1977.
- ALEXANDER, Christopher, *The Timeless Way of Building*. New York, Oxford University Press, 1979.
- ANDRADE, Max. *Processo digital de geração da forma baseada no desempenho e com suporte em building information modeling*. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2012. 399 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2012.
- AS, Imdat ; PAL, Siddharth; BASU, Prithwish. Artificial intelligence in architecture: Generating conceptual design via deep learning. *International Journal of Architectural Computing*, v. 16, n. 4, p. 306-327, 2018.
- ATAMAN, Osman. Measuring the Impact of Media on Architectural Design In IV

Congresso da Sociedade Ibero Americana de Gráfica Digital, Rio de Janeiro, 2000.

BARROS, Raquel; KOWALTOWSKI, Doris. *Do projeto urbano ao detalhe construtivo A Pattern Language* finalmente traduzida. Resenhas online, v. 12, p. 137, 2013.

BELSKY, Michael; SACKS, Rafael; BRILAKIS, Ioannis A. Semantic Enrichment Engine for Building Information Modelling. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, p. 261-274.

BRAUN, Alex; BORRMANN, André. Combining inverse photogrammetry and BIM for automated labeling of construction site images for machine learning. *Automation in Construction*, v. 106, p. 102879, 2019.

BRÍGITE, Giovanna. *Parâmetros de projeto, BIM e aprendizado de máquina no suporte à decisão projetual*. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2019. 161p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2019.

BRUSCATO PORTELLA, Underléa. *De lo digital em arquitectura*. [tese de doutorado] – Barcelona: ETSAB / UPC, 2006. p. 278.

DOLLENS, Dennis. *De lo digital a lo analógico*. Editorial Gustavo Gili, 2002.

FLORIO, Wilson. *Criatividade, cognição e processo de projeto: uma reflexão sobre o ensino-aprendizagem*. 2009.

GODOI, Giovana. *Procedimentos algorítmicos: o método albertiano*. In: CELANI, Maria Gabriela C.; SEDREZ, Maycon Ricardo; CELANI, Gabriela. (Organizadores). *Arquitetura Contemporânea e automação: prática e reflexão*. São Paulo: ProBooks, 2018. p. 29 a 40.

HU, Yuqing; CASTRO-LACOUTURE, Daniel. Clash Relevance Prediction Based on Machine Learning. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 33, n. 2, p. 04018060, 2018.

KALAY, Yehuda E. *Architecture's New Media: Principles, Theories, and Methods of Computer-Aided Design*. London: MIT Press, 2004. 536p.

KOLAREVIC, Branko. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. New York and London, Taylor & Francis, 2003.

KOWALTOWSKI, Doris. *et al. Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico*. Ambiente Construído, v. 6, n. 2, p. 7-19, 2006.

LOVE, Terence. Annotated bibliography relating to definitions of the term 'design process' 1962-1995. *Social, Environmental and Ethical Factors in Engineering Design Theory: a Post-positivist Approach*, 1997.

LAWSON, Brayan; LOKE Shee Ming. Computers, words and pictures. *Design Studies* 18 (2), pp. 171–184, 1997.

MIAO, Yufan *et al*. Computational urban design prototyping: Interactive planning synthesis methods—a case study in Cape Town. *International Journal of Architectural Computing*, v. 16, n. 3, p. 212-226, 2018.

MITCHELL, William. *Computer-Aided Architectural Design*. Nova York: Van Nostrand-

Reinhold Company, 1997.

MOREIRA, Daniel. *Os princípios da síntese da forma e a análise de projetos arquitetônicos*. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2007. 375 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2007.

NATIVIDADE, Verônica Gomes. *Fraturas metodológicas nas arquiteturas digitais*. Dissertação: Mestrado. Universidade de São Paulo. 302 p., 2010.

NEVES, Isabel Clara. Contribuição de Horst Rittel para a abordagem científica ao projecto no início da era computacional. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 6, n. 1, p. 39-55, 2015.

NISZTUK, Maciej; MYSZKOWSKI, Pawel B. Hybrid evolutionary algorithm applied to automated floor plan generation. *International Journal of Architectural Computing*, v. 17, n. 3, p. 260-283, 2019..

DE OLIVEIRA, Marcela Noronha Pinto et al. Aplicação da linguagem de padrões à avaliação de projetos de biblioteca pública. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 8, n. 2, p. 7-25, 2013. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v8i2.80946>.

OUNGRINIS, Konstantinos-Alketas; LIAPI, Marianthi. Spatial Elements Imbued with Cognition: A possible step toward the Architecture Machine. *International Journal of Architectural Computing*, v. 12, n. 4, p. 419-438, 2014.

OXMAN, Rivka. Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 27(2006):229-265.

OZEL, Filiz. Spatial Databases and the Modeling of Dynamic Processes in Buildings, *Proceedings of the CAADRIA 2000 conference*, Singapore, Mai, 2000.

PELLETIER, Louise., 1997. *Architectural representation and the perspective hinge*. Cambridge: MIT Pres.

PIÑON, Helio. *Teoria do Projeto* / trad. Mahfuz Edson da Cunha. Porto Alegre: Livraria do Arquiteto. p.227. 2007.

RADZISZEWSKI, Kacper; WACZYŃSKA, Marta. Machine learning algorithm-based tool and digital framework for substituting daylight simulations in early-stage architectural design evaluation. In: *Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*. 2018. p. 1-7.

ROSSI, Dino; NAGY, Zoltán; SCHLUETER, Arno. Adaptive distributed robotics for environmental performance, occupant comfort and architectural expression. *International Journal of Architectural Computing*, v. 10, n. 3, p. 341-359, 2012.

ROSSO, Teodoro. *Racionalização da construção*. São Paulo: FAUUSP, 1980.

RUSCHEL, Regina Coeli To BIM or not to BIM? In: III Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Anais...São Paulo: ENANPARQ, 2014.

SACKS, Rafael. et al. Automating Design Review with Artificial Intelligence and BIM: State of the Art and Research Framework. In: *Computing in Civil Engineering 2019: Visualization, Information Modeling, and Simulation*. Reston, VA: American Society of

Civil Engineers, 2019. p. 353-360.

SAVOV, Anton; TESSMANN, Oliver; NIELSEN, Stig Anton. Sensitive assembly: gamifying the design and assembly of façade wall prototypes. *International Journal of Architectural Computing*, v. 14, n. 1, p. 30-48, 2016.

SEDREZ, Maycon; CELANI, Gabriela. Ensino de projeto arquitetônico com a inclusão de novas tecnologias: uma abordagem pedagógica contemporânea. Pós. *Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP*, v. 21, n. 35, p. 78-97, 2014.

SEQUEIRA, João Menezes de. A Concepção Arquitectónica Como Processo: o exemplo de Christopher Alexander. *Revista Lusófona de Arquitectura e Educação* nº 01, 2007.p.43-57. Disponível em: (<http://recil.grupolusofona.pt/handle/10437/375>), acesso: jan/17.

STEFANI, Alessandra Márcia de Freitas. *Paradigma ou campo: uma análise da produção acadêmica sobre o processo de projeto*. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2014.282p.

STEELE, James. *Architecture and computers: action and reaction in the digital design revolution*. Watson-Guptill Publications, Inc., 2001.

TAMKE, Martin; NICHOLAS, Paul; ZWIERZYCKI, Mateusz. Machine learning for architectural design: Practices and infrastructure. *International Journal of Architectural Computing*, v. 16, n. 2, p. 123-143, 2018.

VAN DER VOORDT, Dorotheus Johannes Maria; VAN WEGEN, Herman BR. *Architecture in use*. Routledge, 2005.

VAN DER VOORDT, Dorotheus Johannes Maria; VAN WEGEN, Herman BR. *Arquitetura sob o olhar do usuário: programa de necessidades, projeto e avaliação de edificações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

ZELLNER, Peter. *Hybrid space: new forms in digital architecture*. London: Thames&Hudson, 1999.