

OFICINA DE PROJETO PARAMÉTRICO COLABORATIVO COM ÊNFASE NA CONSTRUTIBILIDADE: UMA EXPERIÊNCIA DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO

TALLER DE PROYECTO PARAMETRICO COLABORATIVO ENFOCADO EN LA CONSTRUCTIBILIDAD: UNA EXPERIENCIA EN INVESTIGACIÓN, ENSEÑANZA Y EXTENCIÓN

COLLABORATIVE PARAMETRIC DESIGN WORKSHOP FOCUSING ON CONSTRUCTABILITY: A RESEARCH, TEACHING AND EXTENTION EXPERIENCE

MONTEIRO, VERNER.

Mestre, Universidade Federal do Rio Grande do Norte e Instituto Federal do Rio Grande do Norte, vernermonteiro@yahoo.com.br

VELOSO, MAÍSA.

Doutora, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, maisaveloso@gmail.com

ANDRADE, HEITOR.

Doutor, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, heitor.andrade@ufrn.abea.org.br

RESUMO

Este texto apresenta os resultados de uma experiência que integrou ações de ensino, pesquisa e extensão, reunindo docentes, pós-graduandos acadêmicos e profissionais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), assim como profissionais arquitetos urbanistas e engenheiros civis atuantes internamente (na Superintendência de Infraestrutura) ou externamente a essa instituição. Trata-se de uma Oficina de Projeto Computacional, com foco no projeto paramétrico colaborativo e na construtibilidade dos elementos projetados; no caso, uma cobertura em madeira que atuará como elemento de conexão entre dois edifícios ligados aos cursos graduação e pós-graduação da Arquitetura, no campus central da UFRN, estrutura a ser executada pelo Centro de Tecnologia. O *software* Rhinoceros, associado ao *plugin* Grasshopper, foram utilizados como ferramentas de auxílio à concepção de uma forma complexa para essa cobertura considerando uma série de restrições projetuais, inclusive materiais. Foi também dada a possibilidade de utilização do *plug-in* Karamba3D para cálculo estrutural. Metodologicamente, a Oficina fez uso de um tipo de ateliê integrado de projeto, o multidomínios, utilizando-se de multimeios de concepção e representação, com ênfase na colaboração entre os diferentes agentes participantes. Duas pesquisas científicas embasam essa experiência didática: uma em nível de doutorado centrada na inserção da construtibilidade no processo de projeto com base em parâmetros e outra sobre novas pedagogias do projeto, associando-as, sobretudo, ao uso de recursos computacionais contemporâneos. Além disso, uma ação integrada de extensão permitiu a participação de agentes externos. Após oito encontros foram produzidas seis propostas paramétricas da cobertura em madeira que serão aqui sinteticamente apresentadas e discutidas.

PALAVRAS-CHAVE: projeto paramétrico; projeto colaborativo; construtibilidade; pesquisa; ensino de projeto;

RESUMEN

Este texto presenta los resultados de una experiencia que integró acciones de enseñanza, investigación y extensión, reuniendo a profesores, estudiantes de posgrado académicos y profesionales de la Universidad Federal de Rio Grande del Norte (UFRN), así como arquitectos urbanos e ingenieros civiles que trabajan internamente (Superintendencia de Infraestructura) o fuera de esa institución. Es un taller de diseño computacional, que se centra en el diseño paramétrico colaborativo y en la capacidad de construcción de los elementos proyectados: En este caso, una cubierta de madera que actuará como elemento de conexión entre dos edificios vinculados a los cursos de pregrado y posgrado en Arquitectura, en el campus central de UFRN, una estructura que será ejecutada por el Centro de Tecnología. El software Rhinoceros, asociado con el complemento Grasshopper, fueron utilizados como herramientas para ayudar a diseñar una forma compleja para esta cobertura considerando una serie de restricciones de diseño, incluidos los materiales. También se le dio la posibilidad de utilizar el *plug-in* Karamba3D para el cálculo estructural. Metodológicamente, el Taller hizo uso de un tipo de estudio de proyecto integrado, el multidominio, utilizando multimedia de concepción y representación, con énfasis en la colaboración entre los diferentes agentes participantes. Dos investigaciones científicas subyacen a esta experiencia didáctica: una a nivel doctoral centrada en la inserción de la constructibilidad en el proceso de diseño basado en parámetros y otra en nuevas pedagogías de proyectos, asociándolas, sobre todo, con el uso de recursos computacionales contemporáneos. Además, una acción de extensión integrada permitió la participación de agentes externos. Después de ocho reuniones, se produjeron seis propuestas paramétricas de cubiertas de madera que se resumirán y discutirán aquí.

PALABRAS CLAVES: proyecto paramétrico; proyecto colaborativo; constructibilidad; investigación; enseñanza de proyecto;

ABSTRACT

This paper presents the results of an experience that integrated teaching, research and extension actions, bringing together professors, academic graduate students and professionals from the Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN), as well as architects and civil engineers from the Infrastructure Superintendence of UFRN, or outside that institution. It is a Computational Design Workshop, focusing on collaborative parametric design and on the constructability of the designed elements - a wooden roof that will behave as a connecting element between two buildings linked to the undergraduate and postgraduate in Architecture, at the central campus of UFRN, a structure to be built by the Technology Center. The Rhinoceros software, along with the Grasshopper plugin, were used as tools to help design a complex form for this coverage considering a series of design constraints, including materials. It was also given the possibility of using the Karamba3D plug-in for structural analysis. Methodologically, the Workshop made use of a type of integrated design studio (the multi-domain one) using multimedia of conception and representation, with emphasis on collaboration between the different participating agents. Two scientific researches underlie this didactic experience: one at the doctoral level centered on the insertion of constructability in the design process based on parameters and another on new project pedagogies, associating them, above all, with the use of contemporary computational tools. In addition, an integrated extension action allowed the participation of external agents. After eight meetings, six parametric proposals of wood roofing were designed and will be summarized and discussed here.

KEYWORDS: *parametric design; collaborative design; constructability; research; design teaching.*

1 INTRODUÇÃO

Este artigo, que abre a seção PRAXIS dessa edição da Revista, apresenta uma experiência de projeto paramétrico colaborativo que integrou ações de pesquisa, ensino e extensão, no âmbito dos Programas de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU - programa acadêmico) e em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente (PPAPMA - programa profissional) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). A experiência, realizada no primeiro semestre de 2019, consistiu em uma Oficina de Projeto Computacional (componente curricular vinculado ao PPAPMA, coordenado por Maísa Veloso e Heitor Andrade), que enfatizou, nesta sua primeira edição, a abordagem paramétrica aplicada ao processo de projeto de discentes vinculados ao mestrado profissional (como inscritos regulares), ao mestrado e doutorado acadêmicos (como inscritos especiais), bem como de profissionais arquitetos urbanistas e engenheiros que participaram da atividade por meio de uma ação de extensão vinculada (Oficina de Projeto Paramétrico, coordenada por Verner Monteiro, responsável pela capacitação no *software* Rhinoceros associado ao *plugin* Grasshopper).

A experiência desse semestre serviu também como experimento para a pesquisa de doutorado do primeiro autor desse texto, intitulada “A construtibilidade no processo de projeto paramétrico colaborativo” que tem como objetivo principal “analisar como as questões relativas à construtibilidade, consideradas por uma equipe colaborativa, interferem no processo de projeto paramétrico” (MONTEIRO, 2018). Tendo em vista esse foco na construtibilidade, a experiência de ensino-pesquisa-extensão contou também com a participação do engenheiro civil Felipe Tavares, da UFBA, que, como professor convidado, introduziu em uma das aulas o *plugin* Karamba3D, para cálculo da estrutura a ser projetada.

Do ponto de vista do ensino do projeto, a ação integrada é embasada na pesquisa sobre novas pedagogias do projeto, associando-as, sobretudo, ao uso de recursos computacionais contemporâneos (VELOSO, 2018). Nessa perspectiva, interessa-nos, sobretudo, investigar as potencialidades e limites desse formato original de ateliê integrado e colaborativo que associa os interesses de docentes, pós-graduandos e profissionais, tanto em termos de capacitação em ferramentas computacionais como em sua aplicação ao processo de projeto de um elemento arquitetônico de forma complexa, indo ao encontro das pesquisas aplicadas no campo projetual que utilizam o ateliê como um laboratório de experimentações profícuas.

Metodologicamente, a Oficina foi estruturada em oito encontros de três horas-aula para fins de *capacitação* nas ferramentas por meio de exercícios de reprodução de formas complexas e de *concepção* de um elemento arquitetônico a ser executado no campus da UFRN - uma passarela com cobertura em madeira, que irá conectar o bloco dos laboratórios em Arquitetura ao novo prédio da Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Ao final, houve um encontro de seis horas-aula para execução final das maquetes das propostas dos participantes da Oficina, que foram agrupados em seis equipes mistas, associando arquitetos urbanistas, mestrandos profissionais e acadêmicos, profissionais da Superintendência de Infraestrutura e, em três grupos, engenheiros civis.

Além desta Introdução, o texto discute, no item 2, os principais conceitos e referências teóricas que fundamentam a experiência, alicerçada sobretudo nas pesquisas que lhe estão associadas, mas também nas reflexões teóricas dos dois docentes vinculados ao PPAPMA e ao PPGAU/UFRN, que estudam sistematicamente métodos e técnicas de projeto e de ensino de projeto. Ali são discutidos brevemente o Projeto Paramétrico em Arquitetura, a Materialidade e a Construtibilidade de edifícios de forma complexa, o

Projeto colaborativo na era digital, o Processo Projetual em Arquitetura e o Ensino de Projeto em Ateliês Integrados e Oficinas Colaborativas.

Em seguida, apresenta-se mais detalhadamente, no item 3, com foi estruturada didaticamente a Oficina de Projeto Computacional, realizada no primeiro semestre de 2019, que permitiu testar hipóteses e procedimentos de pesquisa. Por exemplo, no caso da pesquisa de doutorado vinculada, a hipótese é que “no processo de projeto paramétrico, realizado por equipes colaborativas, os aspectos da construtibilidade do edifício, que estão enquadrados por Lawson (2005) como restrições práticas, assumem caráter de restrições radicais (aquelas que guiam ou constituem a base essencial de determinados processos de projeto), e conduzem mais facilmente o processo de projeto e execução do edifício” (MONTEIRO, 2018).

No item 4, apresentam-se resumidamente os produtos gerados pelas equipes participantes da Oficina. Cinco das seis propostas finais serão apresentadas e comentadas pelos próprios autores nos demais textos dessa Seção. E por fim, tecem-se as considerações críticas sobre a experiência vivenciada, do ponto dos discentes e docentes envolvidos, tendo como base principal a avaliação coletiva feita no último dia da atividade.

2 CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS-CONCEITUAIS

Projeto Paramétrico em Arquitetura

Os processos de projeto na área de arquitetura e *design*, para Lawson (2011), não obedecem a uma lógica identificável, nem a uma ordem previsível. Partindo do problema para a solução, segundo ele, o projetista teria que passar pelas ações de Análise, Síntese e Avaliação, não necessariamente em uma ordem cíclica durante o processo. Mas antes de tentar chegar à solução de um problema de projeto, é preciso, segundo o autor, realizar uma formulação apropriada dos problemas de projeto. Ele propõe um modelo tridimensional, de onde todos os problemas se originariam, e dividem-se segundo as restrições, que combinadas, mostram de que direção os problemas de projeto podem surgir, em cada situação específica. De modo objetivo, essas restrições podem ser guiadas pelos agentes envolvidos no processo (projetista, cliente, usuário e legislador), e podem ser de natureza simbólica, formal, prática ou radical.

Se considerados processos de projeto de edifícios de forma complexa, a restrição formal parece ser a das mais significantes. Nesses casos, aliada a ela, as restrições construtivas (enquadradas como práticas pelo autor do modelo), também podem assumir forte significado no processo, visto que esses projetos normalmente não dão seguimento a padrões executivos pré-estabelecidos na indústria da construção. A associação da concepção de projetos de arquitetura ao conhecimento construtivo por parte do arquiteto é tema abordado por vários autores. Fabricio e Melhado (2011, p.57) destacam que “o projeto de edifícios é, entre outras definições, um processo cognitivo orientado à concepção de objetos e à formulação de soluções de forma a antecipar um produto e sua obra”. Ela é o produto do projeto, que para (BOUDON *et al.*, 2000) trata da materialização de uma ideia, de um trabalho intelectual consciente que ocorre durante sua concepção. O projeto, nesse contexto, é visto como um processo de elaboração que antecede o edifício construído, e não somente como um produto apresentado por um conjunto de representações gráficas.

Schön (2000) defende que o ato de projetar se dá mais efetivamente quando ocorre a reflexão-na-ação, especialmente quando o projetista conversa com as representações do projeto, e sua ideia evolui. Quando o processo envolve a conversa do projetista com o computador, especialmente quando a geometria se torna irregular, é provável que exija um conhecimento altamente especializado nas ferramentas (LAWSON, 2011).

No contexto da aplicação dos recursos digitais, Picon (2010) alerta para o fato de que a digitalização do projeto não pode ser tratada apenas como mero avanço tecnológico, que não afeta a natureza da produção do arquiteto. O autor aponta que a digitalização vai além disso, permitindo ao arquiteto, manipular formas extremamente complexas e visualizar mais livremente as modificações do projeto. Nesse sentido, Sykes (2010) atesta que avanços tecnológicos recentes tem trazido uma gama de oportunidades e desafios, com implicações para todos os aspectos da disciplina arquitetônica. A autora constata que a expansão do domínio digital tem criado um conjunto de possibilidades para arquitetura, com o aparecimento de novos modos de projetar (incluindo aplicações computacionais), fabricar (geração de materiais construídos com customização), e representar (criando modelos computacionais e animações). Para aqueles que estão fora da profissão, o mais óbvio da manifestação das tecnologias digitais tem sido visível nas qualidades formais sem precedentes de certos edifícios contemporâneos (SYKES, 2010).

O avanço das ferramentas computacionais possibilitou, nos anos recentes, a integração novas possibilidades aos processos de projeto, e isso vem acontecendo com mais latência quando da

incorporação da modelagem paramétrica, ou generativa, entre outros termos que a definem. A incorporação dessas ferramentas pelos projetistas no ato de projetar faz surgir o termo **Projeto Paramétrico** ou **Projeto Generativo**. É definido por Agkathidis (2015) como um método de projeto em que a geração da forma é baseada em regras ou algoritmos, normalmente derivadas do uso de ferramentas computacionais, como Processing, Rhinoceros, Grasshopper e outras plataformas de *scripting*. Woodbury (2010) define a aparência de um projeto paramétrico como um gráfico direcionado de nós e ligações. A modelagem paramétrica, generativa ou algorítmica, segundo Agkathidis (2015, p.8) “proporciona novos caminhos projetuais a arquitetos por meio da quebra de relações previsíveis entre forma e representação, em favor das complexidades geradas computacionalmente”. Quanto ao uso dessas ferramentas aplicadas ao processo de projeto, Woodbury (2010) define o meio paramétrico como complexo, talvez mais do que qualquer já utilizado na história do projeto.

O contexto digital, em especial o de processos de projeto que utilizam a modelagem paramétrica como recurso, requerem uma prática visual capaz de acompanhar interações entre o global e o local, entre a definição geral do projeto e as mudanças trazidas pelas variações paramétricas. Assim, a menor mudança pode afetar o *design* como um todo, como na conhecida afirmação da teoria do caos de que a vibração de uma borboleta em uma parte do mundo pode causar uma tempestade em outra (PICON, 2010). A seleção de parâmetros durante o processo de projeto pode ser feita de maneira suave ou em grande detalhe, à medida em que a multiplicidade de possibilidades combinatórias aparecem (KLINGER, 2008).

De acordo com Pottman (2010), o efetivo uso de poderosos *softwares* de desenho geométrico exige conhecimento em geometria além daqueles tradicionalmente ensinados em disciplinas de desenho técnico, e é necessário um entendimento ainda mais profundo para compreender a tecnologia de projeto paramétrico. Segundo o autor:

“Usá-lo bem necessariamente combina o uso de fluxo de dados, estratégias de divisão e conquistas, nomeação, abstração, visualização 3D e matemática, e pensamento algorítmico. O autor defende que o domínio das técnicas da modelagem paramétrica requer que o profissional seja parte projetista, parte cientista da computação e parte matemático (POTTMAN, 2010, p.74).

Já Scheurer (2010, p.20) defende que, no tocante à aplicação de algoritmo em projeto por meio das ferramentas disponíveis, duas tarefas ainda permanecem as mesmas:

[...] primeira, abstrair, de um conjunto de problemas individuais, uma série de soluções, com um conjunto mínimo de parâmetros, que apontam para uma gama de soluções grande o suficiente para acomodar todas as variáveis necessárias; e segundo, lista todas as variáveis individuais com os valores paramétricos corretos. Portanto, o trabalho simplesmente não desaparece, ele apenas muda para um nível superior de abstração: programação ao invés de desenho.

Apesar de exigir muito esforço de aprendizagem, o autor defende que o algoritmo é mais fácil de manusear do que um conjunto de desenhos. A mudança para a plataforma, no entanto, vem com um custo. Leva energia na forma de consumo de ações cerebrais para se acompanhar um algoritmo inteligente. Esse desenvolvimento é transformativo à medida em que ocorre um envolvimento do projetista com a era da informação, cuja tecnologia leva a maiores possibilidades de criação, onde as ideias passam a romper as barreiras tecnológicas, levando ao surgimento de inovação e exploração (DUNN, 2012).

Para Picon (2010), o projeto arquitetônico é de fato um objeto virtual. Tanto que não prevê uma única obra construída, mas toda uma gama delas. Não há projeto arquitetônico sem alguma margem de indeterminação que permita seguir diferentes caminhos. Normalmente, apenas uma será a edificação será construída. Desse modo, pensar o projeto em ambiente computacional deve trazer consigo o conhecimento da “modelização presente na concepção arquitetural” (BOUDON *et al*, 2000), para que haja a presença do espaço real no processo de concepção arquitetural por meio da *embrayage* (ligação entre o concebido e o executável). É nesse contexto em que a **construtibilidade** do edifício entra, como um quesito indispensável ao processo de projeto. Ela acontece quando ocorre a integração entre três campos de conhecimento: **construção, planejamento e projeto** (MENDELSON, 1997).

Materialidade e Construtibilidade de edifícios de forma complexa

Em arquitetura, Piñón (1998) defende que não há concepção projetual sem consciência construtiva. O que ele chama de *tectonicidade* de um edifício deve ser pensada desde as primeiras ideias. De modo mais amplo, Picon (2010) corrobora com essa afirmativa quando defende que a materialidade provavelmente permanecerá como um recurso fundamental da produção arquitetônica.

Quando se relacionam o uso dos recursos computacionais de projeto e a idealização do objeto arquitetônico, Picon (2010) aponta para o impacto do computador, que traz consigo uma reformulação da experiência física e da **materialidade**, e não uma alienação dessa dimensão. O autor defende, ainda, que o uso do computador representa uma ascensão substancial em relação aos recursos tradicionais de representação em Arquitetura, e que a abstração inerente à representação arquitetônica não implica necessariamente em uma falta de materialidade na sua representação. No tocante à relação entre concepção, representação e projeto, Cordeiro & Rocha (2017) atestam que a concepção da forma arquitetônica não prescinde dos saberes construtivos, uma vez que a tensão entre estrutura física e estrutura visual constitui um dos problemas centrais da criação arquitetônica. Essa constatação pode ser expandida em outra afirmativa de Picon (2010). Para ele:

Um projeto arquitetônico é de fato um objeto virtual. É tão virtual que antecipa não apenas a confecção de um edifício, mas um conjunto deles. Não existe projeto arquitetônico sem uma margem de indeterminação que permite diferentes caminhos a serem seguidos, e usualmente, apenas um será construído (PICON, 2010, p.269).

A produção de arquitetura advinda de recursos computacionais dos últimos anos, aplica, frequentemente, a fabricação digital como mecanismo de confecção de partes do edifício, conforme apontam publicações que trazem projetos da prática arquitetônica contemporânea, de autores como Celani & Sedrez (2018) e Burry & Burry (2010). A fabricação digital é uma subcategoria do CAD/CAM (*Computer-Aided-Design/Computer-Aided-Manufacturing*) devido usar máquinas controladas por computador como ferramenta para cortar ou esculpir partes do edifício. Apesar de relativamente novo na arquitetura, o CAD/CAM têm sido utilizado por mais de 50 anos no desenvolvimento e fabricação de carros, aviões ou pequenos produtos de consumo.

Além das questões gerais que envolvem a fabricação de partes do edifício, fatores de montagem como a etiquetagem/numeração das peças, codificação de barras e limitações de tamanho para o transporte também passam a ser importantes, revelando informações que podem afetar o projeto final (KLINGER, 2008). Dada a complexidade da inclusão da fabricação digital no processo de projeto em Arquitetura, Oxman (2010, p.17) defende, em seu manifesto *The New Structuralism* (O Novo Estruturalismo), que esse processo de preparação para fabricação e construção depende de uma reinterpretação da tectônica do projeto.

Quando se trata da fabricação (digital ou não) de partes que compõem o todo em um edifício de formas complexas, Dieste (1992) menciona a aplicação da **racionalização geométrica** (modo de simplificar a forma do projeto para a sua construção) como uma necessidade econômica. Ela também é, por consequência, uma demanda de **construtibilidade** do edifício que tem forte interferência no processo de projeto, seja nas fases iniciais, ou em fases mais avançadas.

Apesar da racionalização geométrica avançada ter feito parte da arquitetura não tradicional por mais de um século, nas últimas duas décadas, a prática se intensificou devido a avanços na tecnologia de modelagem digital, segundo Fischer (2012). Em tempos de uso de recursos computacionais no projeto, a racionalização geométrica tem que reavaliar a geometria com um desvio mínimo em relação ao projeto original, e ao mesmo tempo, encontrar requisitos para os tipos de painel, a suavização de superfície, a paginação dos painéis e o custo de produção (SHELDEN, 2002). Pottman (2010, p.74) constata, em seu estudo, que “ainda não há estágio de sofisticação suficiente a ponto de disponibilizar *softwares* com a capacidade de fazer o trabalho de racionalização de geometria; é necessário introduzir um tipo de fase de redesenho após a definição da geometria original”.

Nesse sentido, é cada vez mais comum a integração de empresas especializadas em transformar formas complexas em exequíveis, como diversos exemplos citados por Celani & Sedrez (2018). De acordo Celani & Walz (2018), essas empresas podem iniciar a sua colaboração nas fases iniciais do projeto, ou em fase posterior, de viabilização do projeto para ser construído, conforme o exemplo do Centre Pompidou, da cidade de Metz, na França.

De modo mais amplo, na fase de projeto, a racionalização geométrica, somada a outras variáveis, possui grande relevância para os projetistas, pois “esses princípios podem introduzir o mecanismo generativo no projeto paramétrico, que é capaz de produzir dimensões otimizadas para partes do edifício, e simplificar as suas interrelações” (BANIHASHEMI; TABADKANI; HOSSEINI, 2017, p.1).

Segundo Wong et al (2006, apud OTHMAN, 2011, p.334), “a construtibilidade dialoga com sistemas de gerenciamento de projeto que usam conhecimento construtivo otimizado e experiência para potencializar o resultado da obra”. Para ele, os benefícios vêm quando a construtibilidade é considerada nos estágios mais precoces de projeto. Quanto ao impacto da construtibilidade na etapa de projeto, Shelden (2002), destaca que:

(...) à medida em que o processo projetual está vias de considerar aspectos de construtibilidade, as relações entre os elementos físicos e digitais ganham novas formas. A integração vem menos preocupada com as capacidades de captura da forma das representações digitais, e mais engajada em entender questões de construtibilidade. Nesse sentido, o uso de protótipos físicos em escala natural, os chamados *mock-ups*, com os sistemas do edifício produzidos por fabricação digital, promovem informações valiosas para o desenvolvimento do projeto (SHELDEN, 2002, p.47).

Portanto, é a partir da articulação apropriada entre o conhecimento em construtibilidade e habilidades com o meio digital, itens até aqui abordados, que a agenda para o futuro dos cursos de arquitetura deve ser estruturada (OTHMAN, 2011). E essa diretriz pode ser também conduzida para o meio profissional, em se tratando de escritórios de arquitetura que decidam pela adoção da tecnologia, ainda que tardiamente.

Ampliando a discussão para o uso dos modos de representação em função da construção, Mangelsdorf (2010) introduz o meio digital e as tecnologias emergentes como rápidos expansores do que se pensa acerca de forma, espaço e possibilidade de materialidade. Seguindo esse raciocínio, as estratégias de projeto requeridas para essa maneira inteligente de pensar o projeto envolvem o **comportamento estrutural** de formas complexas desde as fases iniciais e apontam para uma coordenação entre **estrutura, arquitetura e fabricação**.

De maneira mais ampla, muitos autores defendem a colaboração estreita entre arquitetos, engenheiros estruturais e empresas de construção, ou da indústria de fabricação digital. Assumindo essa condição, Oxman & Oxman (2010, p.23) constata que “arquiteto e engenheiro civil dividem novamente a histórica responsabilidade no processo de projeto, fabricação e construção”. Desse modo, tectônica digital, morfogênese digital, materialidade e geração evolutiva são, segundo os autores, o campo de pesquisa do projeto de engenharia estrutural que também é comum ao arquiteto. Assim, a engenharia estrutural, codificação e fabricação de sistemas construtivos tem se tornado uma área de estudo de projeto e expandido a base de conhecimento comum ao arquiteto e ao engenheiro estrutural.

Projeto colaborativo na era digital

Nos processos de projeto em arquitetura, seja qual for o tamanho da edificação, haverá a necessidade não só de arquitetos, mas também de calculistas e engenheiros estruturais e de serviços, e edificações mais complexas podem envolver muitos outros profissionais ainda mais especializados (LAWSON, 2011). Essa assertiva se aplica na peculiaridade inerente a projetos paramétricos, especialmente aqueles que aplicam regras para gerar formas complexas, dada a customização construtiva de formas que fogem das chamadas geometrias tradicionais.

Em um contexto de materialização de projetos paramétricos de edifícios, onde equipes projetam colaborativamente, apesar da recorrente dissociação entre representação arquitetônica e tectônica, a verdadeira novidade é a integração íntima entre projeto e materialidade, que pode desafiar as identidades profissionais tradicionais de arquitetos e engenheiros (PICON, 2010). O autor reforça que ambas as profissões, especialmente em períodos mais recentes da história, foram baseadas na suposição de uma distância entre o mundo intelectual e o mundo físico, uma distância que o projetista deveria atravessar.

Em projetos que utilizam recursos computacionais (mas não exclusivamente para eles), uma troca efetiva de informações é fundamental para alcançar a materialidade na arquitetura, e é indicada por meio de uma colaboração próxima entre arquitetos, fabricantes, fornecedores de materiais, engenheiros e muitos outros, nas fases iniciais e conceituais do projeto (KLINGER, 2008). Nesse mesmo sentido, Picon (2010) indica que o processo de projeto computacional deve envolver vários consultores, desde os colaboradores do arquiteto até os engenheiros e construtores responsáveis pelos desenvolvimentos tecnológicos específicos.

Ao considerar fundamental a integração (de uma equipe colaborativa de projeto) desde as fases iniciais, Othman (2011, p.333) considera que “integrar o conceito de construtibilidade durante o processo de projeto aumenta a performance do edifício, em termos de redução do tempo de obra, custos e desperdício, assim como aumenta a qualidade e a produtividade”.

No sentido da abordagem integrada no projeto, de acordo com Sobek (2010, p.39), “dados da engenharia estrutural são alimentados de volta para o modelo e serve como um guia de projeto para a arquitetura ao invés de uma base para mera pós-razionalização da geometria do objeto arquitetônico”. Desse modo, o papel dos colaboradores varia por projeto, e na realidade, muitos colaboradores potenciais devem reconfigurar sua maneira de trabalhar para participar de modo mais efetivo da troca de informações digital (KLINGER, 2008).

Para projetarem formas complexas difíceis de serem construídas, renomados escritórios de arquitetura e engenharia na América do Norte e Europa, normalmente tem grupos especiais de projeto e/ou de modelagem, formados por programadores, matemáticos, arquitetos e engenheiros, trabalhando para encontrar soluções para a construção de seus projetos. Por outro lado, empresas que não possuem este tipo de grupo de desenvolvimento e pesquisa têm a opção de contratar consultores especializados, como a Design-to-Production, a A. Zahner e outras (CELANI; WALZ, 2018).

Na empresa *Design-to-Production*, por exemplo, existem duas maneiras diferentes para auxiliar a produzir estruturas complexas. A primeira é auxiliar na fase inicial de projeto guiando a construtibilidade do edifício. A segunda é quando o projeto parece estar pronto e é preciso incorporar os aspectos de engenharia estrutural, aspectos físicos do edifício (CELANI; WALZ, 2018). Segundo os autores, consultores geralmente têm que conduzir até certo ponto, então outros profissionais assumem o detalhamento.

Klinger (2008) defende que seja adotado um conjunto de estratégias/habilidades para o processo de projetar através da construção, ou considerando a construtibilidade do edifício, que envolvem:

- 1) Consultoria/colaboração:** Todas as disciplinas têm algo a oferecer como dado de entrada no pensamento projetual, dependendo das condições do problema de projeto. Entretanto, outros tipos de conhecimento são crescentemente relevantes para a equação, como ciências biológicas, condições ambientais, gerenciamento de informações e outros.
- 2) Fabricação:** Conhecimento em processos de fabricação digital;
- 3) Software e codificação:** domínio de programas computacionais e codificação para a resolução aplicada a problemas que os softwares tradicionalmente não conseguem responder.
- 4) Pesquisa:** pesquisa direta relacionada a problemas considerados no processo de projeto (KLINGER, 2008, p.29, **grifos nossos**).

Para Bernstein (2008), modelos de projeto da atualidade não funcionam como um ambiente onde informações digitais criadas colaborativamente são a base para a construção e fabricação. Segundo ele, esse obstáculo conceitual irá requerer cooperação entre profissionais da arquitetura, engenharia, construção e cliente. Para isso, Sedrez & Gauss (2010) defendem que uma das saídas para isso é o ensino para arquitetos e engenheiros. Os autores acreditam que é preciso abordar dois aspectos durante a formação dos dois profissionais: as habilidades de programação e a automação da construção, para preencher as lacunas entre o projeto e a fabricação.

Diante da necessidade de troca de informações fluida, outro fato que alguns autores destacam são os arranjos contratuais atuais da indústria da construção civil, que devem evoluir mais rapidamente para facilitar a troca de informações ao longo de todas as fases do processo, como defende Klinger (2008). Bernstein (2008) corrobora com esse raciocínio, quando afirma que práticas integradas sugerem que a indústria da construção civil deveria se mover dos modos tradicionais de trabalho para equipes totalmente colaborativas que inclui todas as especialidades no ciclo de vida de um projeto.

O arranjo de colaboração em projetos de edifícios coloca arquitetos como profissionais que tem a percepção e informações necessárias para exercerem controle sobre o processo como nunca. Eles estão prontos para recolocar o projeto como o principal impulsionador, e o arquiteto em um papel de liderança integrativa (BERNSTEIN, 2008).

Sobre o ensino de projeto e o processo projetual em arquitetura

Antes de tudo, cabe enfatizar que o projeto não pode ser reduzido a uma mera ação de expressão gráfica; mas que se trata de uma atividade que, no caso da prática profissional do arquiteto, está na intersecção de processos intelectuais e de atividades práticas de concepção em um contexto complexo de condicionantes sociais, econômicos (BOUDON *et al*, 2000). Para Boutinet (2000), o projeto significa “pré-visão”; “projeção”, (projetar » lancer, jeter devant soi); “antecipação” de ações/empreendimentos a serem realizados em um futuro próximo. “Controle”, “resolução de problemas”/tomada de decisões » soluções (espaciais, organizacionais, etc.); “meio pelo qual alguém concretiza/materializa e ao mesmo tempo expressa/comunica ideias/intenções (representação)”. Para o autor, é da ordem do processo na medida em que a diretriz avança e deixa-se alterar, deixando de ser projeto quando sua realização faz surgir o objeto em sua configuração material definitiva.

Chupin (2003) observa que o projeto pode ser abordado em diferentes contextos com distintos objetivos e destaca três. O primeiro trata do campo da pesquisa, em que o conhecimento é o principal propósito. O segundo refere-se ao campo profissional, em que o melhor projeto é o que se espera. Por fim, tem-se o campo pedagógico, em que, no ambiente acadêmico, o aprendizado do estudante torna-se a meta. Naturalmente, essas abordagens podem se entrelaçar e constituir uma prática e reflexão teórica com

múltiplos objetivos. É válido ressaltar a compreensão de que o projeto enquanto prática reflexiva é, em si, uma estratégia pedagógica. Conforme Schön (2000), o aprender a projetar projetando tem sido um recurso corrente e amplamente reconhecido entre pesquisadores dedicados ao tema do ensino de projeto. Naturalmente, não se trata apenas de instrumentalizar o projetista em formação de procedimentos ou passos (em sequência linear ou cíclica), mas desenvolver múltiplas competências e habilidades para a prática do projeto.

Nesse sentido, Lebahar (1999) observa que a formação de projetistas passa pelo desenvolvimento de competências de áreas multimeios e multidomínios, em um exercício de simulação de hipóteses de projeto e reduções de incertezas. Para o autor, a competência é também um olhar idealizado e remete a uma capacidade abstrata e invisível para executar uma tarefa específica. Pode simular uma pergunta muito comum, raramente expressada e necessária ao trabalho de concepção. Deste ponto de vista relativista, pressupõe que a atividade de projeto arquitetônico combina exploração, aprendizagem e julgamentos com base em argumentos não exclusivamente racionais, em resoluções de problemas em distintas áreas (construção, luz, geometria, etc.). Trata-se de um processo progressivo em distintos graus de complexidade do problema a ser resolvido, que no contexto pedagógico o exercício projetual pode acontecer, como identifica Hanrot (2009) em distintas perspectivas: a profissional (em que os condicionantes antrópicos são, em geral, considerados), a crítica (em que alguns fatores podem ser questionados) e, por fim, a utópica, em que paradigmas de diferentes ordens - social, ambiental, econômica - são alvo de reflexão e provocam exercícios projetuais distintos.

Sobre a prática projetual, não se pode desconsiderar os tradicionais olhares sobre a estrutura da ação: análise, síntese e avaliação (LAWSON, 2011; SNYDER.; CATANESE, 1984; KOWALTOWSKI *et al.*, 2011). De forma não linear, podem-se identificar procedimentos com diferentes naturezas ao longo do processo, sendo a concepção a determinante, pelo seu caráter decisório. Boudon (2000) chama atenção de que desde etapas preliminares do processo é possível valorizar, o que ele chama de escalas arquitetológicas, ou seja, variáveis ou condicionantes projetuais específicos, como a técnica, a economia, o parcelamento, a geografia, o social, etc. Nesse campo da concepção projetual, Mahfuz (1995) distingue o todo conceitual no núcleo da trilogia vitruviana - os três elementos fundamentais da arquitetura: a *firmitas* (carácter construtivo), a *utilitas* (associada à função) e a *venustas* (relacionada à estética) - remetendo-o a um princípio (ou estratégia fundamental) materializado ou não em fases preliminares do projeto. Mais recentemente, acrescenta-se à tríade clássica a noção de lugar, cuja consideração torna-se indispensável na concepção do objeto arquitetônico.

Entre os distintos métodos de projeção Kowaltowski *et al.* (2011) identificam alguns: de busca de soluções, de tentativa e erro, de satisfação de restrições, baseado em regras e baseado em precedentes. Sobre esse último, baseia-se do pressuposto de que o processo de criação na arquitetura não parte de uma *tabula rasa*, mas fundamenta-se na interpretação e adaptação de precedentes (MAHFUZ, 1995). Ou seja, a análise de outros projetos assume, para além da ampliação de repertórios, o papel de facilitador da concepção projetual em ambiente acadêmico ou profissional. Esses métodos de análise contribuem para a compreensão não apenas das soluções arquitetônicas, mas das ideias que as originam, bem como podem revelar os processos percorridos pelos projetistas. Em geral, os instrumentos de interpretação dos projetos são: textos, redesenhos, imagens, figuras, mapas e diagramas, cortes, perspectivas, que decompõem o edifício em partes. Mahfuz (1995) identifica quatro métodos (baseado em analogias) que podem auxiliar a geração formal: normativo, tipológico, mimético e inovativo. Vários autores dedicam-se a análise de outros projetos como meio de favorecer o processo de aprendizado, como Piñón (2005), Baker (1994), Unwin (2013).

Ensino de projeto em ateliês integrados e oficinas colaborativas

Do ponto de vista da pedagogia do Projeto, uma das estratégias mais atualmente utilizadas e testadas são as Oficinas ou *Workshops* de Projetos, com foco na concepção colaborativa (HANROT, 2012; VELOSO, 2016; INEICHEN, 2017). Donald Schön (2000) foi um dos primeiros a identificar o potencial do ateliê de projeto de arquitetura como lócus de práticas reflexivas e de aprendizagem baseada em problemas (PBL), seguindo a abordagem empirista de John Dewey, a quem Schön faz as devidas citações no seu renomado livro – *Ensinando o profissional reflexivo*. Combatendo o currículo normativo e as tradições convergentes da maioria das escolas de ensino superior que investigou, o autor propõe que a educação superior se reinvente a partir de estruturas de educação divergentes voltadas para a prática – “ou no aprender fazendo” – como, por exemplo, os ateliês de artes e de projetos de arquitetura. “O projeto da educação profissional deveria ser refeito, para combinar o ensino da ciência aplicada com a instrução, no *talento artístico* da reflexão-na-

ação” (SCHÖN, 2000, p. viii). Nessa perspectiva, a racionalidade e o talento artístico são vistos como habilidades não excludentes que podem ser desenvolvidas e complementadas no ateliê de concepção projetual ou artística, com base, sobretudo, no diálogo ente instrutor e estudantes e numa relação de confiança que é progressivamente construída entre eles.

Consideramos que, em situações de ensino/aprendizagem, essas relações são importantes para superação dos problemas de projeto, em especial de projetos complexos e/ou com alto grau de restrições (técnicas, legais e outras). No entanto, a abordagem de Schön é muito centrada nessa *conversa reflexiva entre o professor e o aprendiz*, durante o processo de formação do futuro profissional. A relação com outros agentes numa situação de trabalho coletivo, de uma equipe multidisciplinar, como dissemos, tem sido mais recentemente valorizada, sobretudo quando se tratam de projetos complexos (LEEWEN, GASSEL, OTTER, 2004; VELOSO, ELALI, 2014), e, assim sendo, torna-se fundamental que o ateliê de projeto prepare o profissional para essa *conversa com os outros* (LAWSON, 2011). Ainda que o ato de conceber espaços e edifícios seja uma competência exclusiva do arquiteto projetista, a gestão do processo de produção do edifício é mais ampla e requer diversas competências especializadas. Entretanto, “a literatura recente tem destacado a fragilidade da formação de profissionais para participar e coordenar projetos complexos e/ou que requerem integração entre diferentes expertises” (VELOSO, ELALI, 2014, p.7). A incorporação de oficinas de concepção coletivas e ferramentas computacionais que facilitem a interação e a colaboração entre diferentes agentes participantes do processo de projeto no âmbito do ensino de graduação e de pós-graduação podem contribuir para superar essas fragilidades na formação do arquiteto urbanista.

Contudo, o ateliê de projeto em nível de pós-graduação *stricto sensu*, como no caso dos mestrados e doutorados profissionais, coloca outros tipos de dilemas pedagógicos, principalmente porque dele participam profissionais já formados, que já sabem projetar, mas que retornam ao meio acadêmico em busca de atualização e/ou qualificação complementar, notadamente no que diz respeito a novos métodos e ferramentas passíveis de serem utilizadas em seus cotidianos profissionais. Mais do que a simples capacitação em novos recursos, os programas profissionais tem como objetivo a inserção da pesquisa científica e da inovação nas atividades necessariamente aplicadas às práticas em escritórios e empresas, com repercussões, no caso da Arquitetura, na melhoria da qualidade da produção dos edifícios e cidades (VELOSO, ELALI, 2011). Nesse sentido, a colaboração entre agentes com diferentes níveis de formação e experiência distintos (inclusive entre professores e discentes profissionais) pode contribuir para uma rica troca de experiências e, talvez, minimizar os erros de projeto, desperdícios na construção e usos indevidos dos espaços projetados. Nesse caso, um acordo tácito pode ser negociado visando a construção desse conhecimento novo e comum. Mas, como em todo acordo, as regras e os papéis dos agentes devem estar bem claros, para que a colaboração possa ser profícua.

Os ateliês integrados - mais comuns nos cursos acadêmicos em que se integram mais de uma disciplina dentro ou em torno do ateliê de projeto, podendo ser ele desenvolvido individualmente ou por pequenos grupos de discentes -, e as oficinas de projeto coletivo colaborativo, que utilizam diversos meios e domínios de conhecimento, tem se apresentado como ambientes salutareos para a formação profissional continuada, seja em sala de aula convencional, seja em workshops de caráter intensivo (de 1 a 3 dias para concepção de ideias preliminares), ou, ainda, em cursos mais prolongados (quando se tratam de projetos em maior nível de detalhamento). É nesse último tipo que enquadra a experiência aqui apresentada.

3 A EXPERIÊNCIA INTEGRADA DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO

Como anunciado anteriormente, a partir de uma necessidade de experimento de projeto com profissionais, em ambiente colaborativo, no âmbito de uma **pesquisa** de doutorado, que investiga “A construtibilidade no processo de projeto paramétrico colaborativo”, além de outras demandas como a de aplicação de novas ferramentas computacionais nos processos de projeto e a de experimento de formatos diversos de ateliê, surgiu a proposta de criação de um componente curricular optativo, denominado Oficina de Projeto Computacional, no âmbito do **ensino** de projeto no Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente da UFRN. A criação da Oficina tem, então, um propósito mais amplo do que servir para a experimentação da tese citada. Enquanto a primeira edição envolveu a temática do Projeto Paramétrico, devido à proximidade com o tema da pesquisa de doutorado, as ofertas futuras deste componente curricular podem abordar outras temáticas do projeto computacional, como o *Building Information Modeling* (BIM) e a Prototipagem Digital.

Além disso, a proposta para a primeira edição, realizada no primeiro semestre de 2019 incluiu, para experimento da tese, a participação de arquitetos com experiência na prática projetual em âmbito

profissional, apesar de não obterem domínio de ferramentas computacionais paramétricas. Assim sendo, além dos alunos regulares do mestrado profissional, foram abertas inscrições para alunos especiais que deveriam ser necessariamente arquitetos urbanistas ou engenheiros civis. O objetivo principal da tese é “analisar como as questões relativas à construtibilidade, consideradas por uma equipe colaborativa, interferem no processo de projeto paramétrico” (MONTEIRO, 2018), o que reforçou a necessidade de integrar, à equipe de mestrandos profissionais inscritos regularmente arquitetos da Secretaria de Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (SIN-UFRN), e engenheiros civis calculistas, externos à UFRN. Essa integração com profissionais externos aconteceu por meio de uma ação de **extensão**, intitulada Oficina de Projeto Paramétrico. Assim sendo, trata-se de uma experiência singular no âmbito do ensino da pós-graduação profissional em Arquitetura, notadamente do Projeto de Arquitetura.

O componente curricular e a metodologia

A Oficina de Projeto Computacional, com carga horária de 30 horas-aula, tem por objetivo a aplicação de ferramentas computacionais a processos de projeto, ou seja, visa não apenas capacitar profissionais para o uso de ferramentas de auxílio ao desenho em computador como também e, sobretudo, sua aplicação na concepção e desenvolvimento de projetos. No caso do Projeto Paramétrico, objeto da primeira edição da Oficina, foram trabalhados

Fundamentos teórico-práticos do projeto arquitetônico computacional, utilizando meios de representação tradicionais e computacionais, mas tendo a modelagem paramétrica algorítmica, mediada pelo uso da aplicação *Grasshopper*, como principal meio de criação. Conceitos e técnicas básicas de modelagem do projeto paramétrico trabalhados por meio da interface de programa computacional de programação visual voltada à criação de formas geométricas com foco na construtibilidade desde as etapas iniciais da concepção. Estudo das restrições construtivas do material a ser aplicado na execução do objeto arquitetônico. Materialização de um dos objetos arquitetônicos concebidos (em modelo de escala reduzida e, possivelmente, em escala 1:1) com a contribuição dos participantes (PLANO DE CURSO, OFICINA DE PROJETO COMPUTACIONAL, PPAPMA/UFRN, 2019.1).

Ainda segundo o Plano de Curso, os objetivos dessa edição foram “aperfeiçoar conhecimentos relativos à abordagem paramétrica no projeto, visando a construtibilidade do objeto arquitetônico”; aprofundar “conceitos e teorias do processo de projeto; conhecer aplicações do projeto paramétrico na arquitetura; utilizar ferramenta de programação visual *Grasshopper* direcionada à reprodução e concepção de objetos arquitetônicos”; e, por fim, “projetar parametricamente pequenos objetos arquitetônicos, inserindo as restrições construtivas envolvidas na execução do projeto”.

Para tanto, foram inicialmente trabalhados fundamentos teóricos relacionados ao processo de projeto, em especial ao projeto paramétrico, por meio de aulas expositivas e leituras sobre o tema. Em seguida, foi feito o treinamento dos estudantes para a aplicação do *Grasshopper*; realizados estudos de referências projetuais de formas complexas que aplicaram a modelagem paramétrica no processo de projeto, para que, em seguida, a partir da análise dos resultados formais, fosse possível modelar parametricamente partes do objeto arquitetônico. Por fim, houve o atelier de concepção de projeto aplicando os conhecimentos adquiridos em situações específicas.

Metodologicamente, a Oficina foi estruturada em oito encontros de três horas-aula, realizados principalmente no Laboratório de Informática da Arquitetura e, em uma ocasião, no Auditório da Superintendência de Infraestrutura (

Figura 1a e 1b), destinados, em um primeiro momento, à *capacitação* nas ferramentas por meio de exercícios de reprodução de formas complexas e, em um segundo módulo, à *concepção* de um elemento arquitetônico a ser executado no campus da UFRN.

Trata-se de uma passarela com cobertura em madeira de forma complexa, que irá conectar o bloco dos laboratórios em Arquitetura ao novo prédio da Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGAU, situado no Centro de Tecnologia (Figura 2). Ao final, houve um encontro de seis horas-aula para execução final das maquetes das propostas dos participantes da Oficina, que foram agrupados em seis equipes

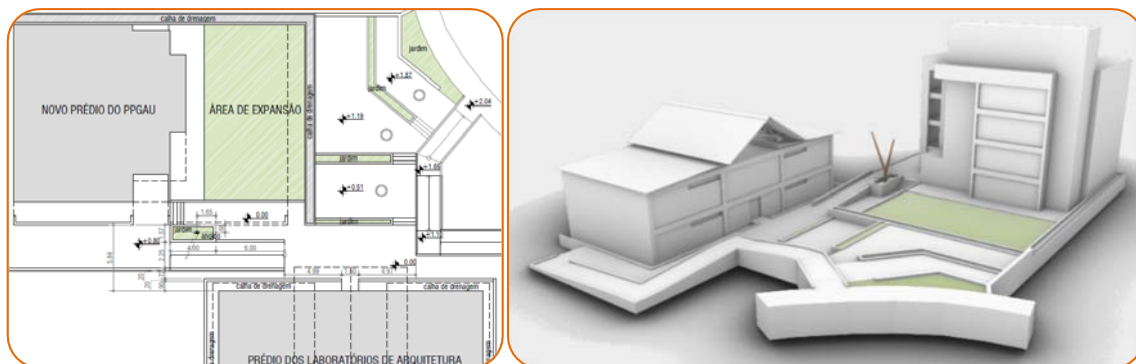
mistas, associando arquitetos urbanistas, mestrandos profissionais e acadêmicos, profissionais da Superintendência de Infraestrutura e, em três grupos, engenheiros civis.

Figura 1: a) Laboratório de Informática/DARQ/UFRN e b) Auditório da SIN/UFRN.



Fonte: a) VELOSO, 2019; b) MONTEIRO, 2019.

Figura 2: Planta de implantação e volumetria da área disponível para o projeto.



Fonte: Elaborado por Verner Monteiro, 2019, a partir de bases digitais da SIN-UFRN.

Para a concepção do projeto, deveriam ser consideradas as seguintes **restrições**:

1) Quanto as pré-existências e os projetos em execução

- Edifícios existentes a conectar (implantação, forma, estética, materiais e sistemas construtivos dos dois prédios); Previsão de expansão do edifício novo; Topografia existente; Sistema de drenagem / grelhas; Agenciamento do piso; Árvore existente - Angico (a preservar); Paisagismo proposto - espécies para recobrimento da estrutura;

2) Quanto ao elemento arquitetônico a ser projetado

- Localização e solução das fundações; Características dos materiais fornecidos (ver listas com características das peças de madeira, parafusos e telhas do anexo a esse enunciado); O material a ser aplicado no projeto deve ser a madeira do tipo Massaranduba, peças a escolher conforme sistema proposto e propriedades estruturais a ele pertinentes (flexão, compressão e tração); Recobrimento da estrutura em telha + vegetação do tipo trepadeira; a depender da tipologia de cobertura adotada, os tipos de nós utilizados nas conexões estruturais, visando minimizar custos e facilitar o modo de fabricação; Montagem e tempo de execução; Para a obra, todos os cortes das peças serão feitos na marcenaria da UFRN ou outro meio, sem possibilidade de aplicação de fabricação digital;

No item 2, a lista das características dos materiais a serem considerados pelas equipes foi obtida junto ao almoxarifado da UFRN, disponível no sistema SIPAC, exigência do Centro de Tecnologia para que fosse minimizada a aquisição de materiais e serviços de origem externa à época da obra, dada a atual contenção de orçamento que a instituição atravessa.

Por fim, era obrigatório que se utilizasse como um dos meios de representação da concepção a modelagem paramétrica (utilizando os softwares Rhinoceros, Grasshopper e Karamba3D para o cálculo estrutural), e

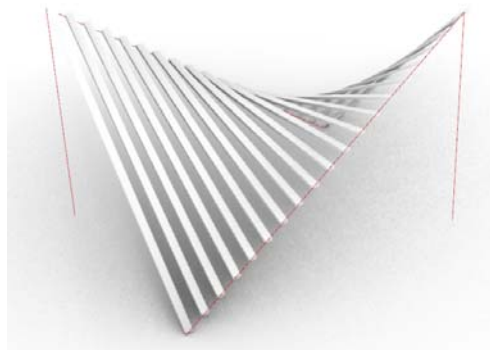
que a forma do objeto arquitetônico tenha possibilidades de variação geométrica definidas por parâmetros. Outros recursos podem ser utilizados livremente para guiar os projetistas, como croquis, modelos físicos de estudo, esquemas, entre outros.

Além do desenvolvimento do projeto, cada equipe deveria apresentar um memorial justificativo das soluções empregadas tendo em vista restrições dadas em um texto de, no máximo, duas páginas.

Composição das equipes e processo de projeto no ateliê:

Os quatro encontros iniciais da oficina foram reservados para a capacitação na ferramenta. No primeiro, foi realizada abordagem teórica acerca de processos de projeto geral e paramétrico (baseado em regras), sinalizando para as especificidades deste último, seguida da apresentação da lógica da programação visual computacional, utilizando a interface dos programas Rhinoceros e Grasshopper. O encontro seguinte contou com a realização de pequenos exercícios acompanhados pela equipe de professores. O terceiro teve a participação professor Engenheiro Civil Felipe Tavares, que apresentou a interface e possibilidades de uso do programa Karamba3D, que se trata de um módulo de simulação estrutural completamente integrado a modelos paramétricos criados nos programas Rhinoceros e Grasshopper. O quarto e último encontro da capacitação ficou reservado para a compreensão e aplicação de gerenciamento de listas de dados, por meio de exercício que reproduziu um parabolóide hiperbólico (Figura 3).

Figura 3: Resultado do exercício de reprodução – parabolóide hiperbólico.



Fonte: MONTEIRO, 2019.

Os quatro encontros seguintes à *capacitação* foram destinados à etapa de *concepção*. O primeiro desses encontros foi iniciado com a divisão das equipes de projeto, em que 19 arquitetos e 03 engenheiros civis foram distribuídos e classificados do grupo 01 ao 06. Os critérios para esse agrupamento foram: i) a formação acadêmica – se arquiteto ou engenheiro civil; ii) as habilidades com ferramentas computacionais de projeto (verificadas durante a etapa de capacitação) e iii) o vínculo acadêmico/profissional (Mestrado profissional, SIN/UFRN ou externo). Compuseram os grupos 01 ao 03 apenas arquitetos (três ou quatro profissionais), enquanto os grupos 04 ao 06 tinham três arquitetos e um engenheiro civil. Os grupos que possuíam apenas arquitetos (grupos 01 ao 03) foram classificados como colaborativo 1 (C1), enquanto os que possuíam arquitetos e engenheiro(a) civil (grupos 04 ao 06) foram classificados como colaborativo 2 (C2). Ainda nesse encontro, além da distribuição das equipes, foi apresentado o enunciado do exercício projetual, ocasião em que se divulgou que as propostas concorreriam entre si, na modalidade concurso de ideias, para que a escolhida pudesse ser executada pelo Centro de Tecnologia. Ao final, foi reservado horário para que as equipes realizassem estudos de referências projetuais que embasassem as atividades do encontro seguinte.

No que diz respeito à utilização do ambiente do ateliê e tempo das reuniões, ficou estabelecido que os projetos deveriam ocorrer no âmbito de ateliê integrado entre os projetistas, fossem eles nos horários e local destinado à oficina (Laboratório de Informática do Departamento de Arquitetura da UFRN) ou não.

O segundo encontro da *concepção* ficou reservado para o conceito e partido do projeto, assim como para a criação das regras paramétricas aplicadas na modelagem. O terceiro encontro, considerando a evolução das propostas e o fato de se tratar de projetos que estavam competindo entre si, foi reservado para que os professores tirassem dúvidas relativas ao que estava posto no enunciado, assim como ajudarem tirando dúvidas relativas à incorporação das ideias projetuais na modelagem paramétrica.

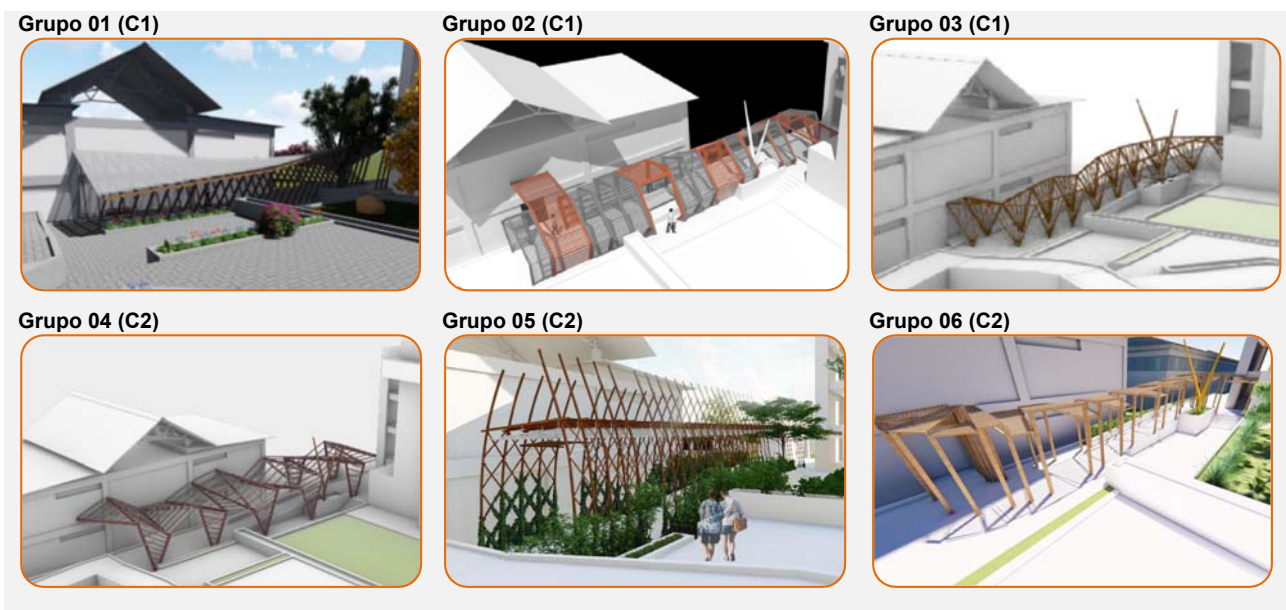
Durante o processo de projeto dos grupos participantes, observou-se, em diferentes níveis, desenvolvimento de competências de áreas multimeios e multidomínios, apresentados por Lebahar (1999). Houve, nesse sentido, além do uso obrigatório da modelagem paramétrica, grupos que utilizaram em maior e menor intensidade representações tradicionais de projeto, como o croqui, CAD (*Computer Aided Design*) 3D e 2D, e BIM (*Building Information Modeling*).

O quarto e último encontro da etapa de concepção ficou destinado à apresentação das propostas para a comissão julgadora do concurso, que foi composta pelos professores envolvidos na ação integrada, incluindo o professor Engenharia Civil Felipe Tavares, pelos professores Rubenilson Teixeira (coautor do projeto do PPGAU, juntamente com a professora Máisa Veloso) e Luíz Alessandro Queiroz (Diretor do Centro de Tecnologia da UFRN). Os grupos tiveram mais quatro dias para refinar as propostas antes do seu envio, por e-mail, para que houvesse uma análise mais minuciosa por parte da comissão julgadora.

4 OS PRODUTOS GERADOS

Todos os seis grupos enviaram as propostas finais, algumas originalmente fiéis ao que foi apresentado à comissão julgadora, outras com itens incorporados a partir dos comentários dos professores. Os produtos projetuais (Figura 4) enviados mostraram diversidade de tipologia arquitetônica, havendo similaridade conceitual apenas os grupos 01 e 02. Os projetos resultantes dos exercícios de concepção traduziram, em maior ou menor escala, o atendimento aos requisitos do enunciado lançado, em especial às questões relativas à construtibilidade do objeto arquitetônico, já que se tratava de uma obra a ser executada em futuro próximo.

Figura 4 – Propostas arquitetônicas apresentadas pelos grupos.



Fonte: Alunos/participantes da oficina da ação integrada.

Em termos de solução formal, a proposta do **grupo 01** foi criar uma passagem semipermeável, do ponto de vista dos acessos, gerada a partir de um pórtico triangular equilátero que sofria rotações sucessivas ao longo do eixo longitudinal da forma, gerando assim movimento ao longo do percurso. O **grupo 02** apresentou proposta semelhante, do ponto de vista conceitual. As diferenças foram que o elemento geométrico básico do pórtico era pentagonal e o espaçamento entre eles era variado. O projeto do **grupo 03** também criou solução de passagem semipermeável, apoiada por pilares em formato de leque que se conectavam por pérgolas para formar a cobertura. A proposta do **grupo 04** é uma grande cobertura, apoiada parte nos edifícios existentes, parte em pilares de formato “V”, composta por faces que projetadas em planta tem formato de triângulos isósceles. O **grupo 05** apresentou proposta que possuía passagem fechada, com aberturas planejadas estrategicamente nos acessos aos edifícios e à área da praça existente. O **grupo 06**, por fim, propôs uma sequência de pórticos de formato trapezoidal em planta, com alternância de alturas, que interligados formar passagem permeável nas laterais.

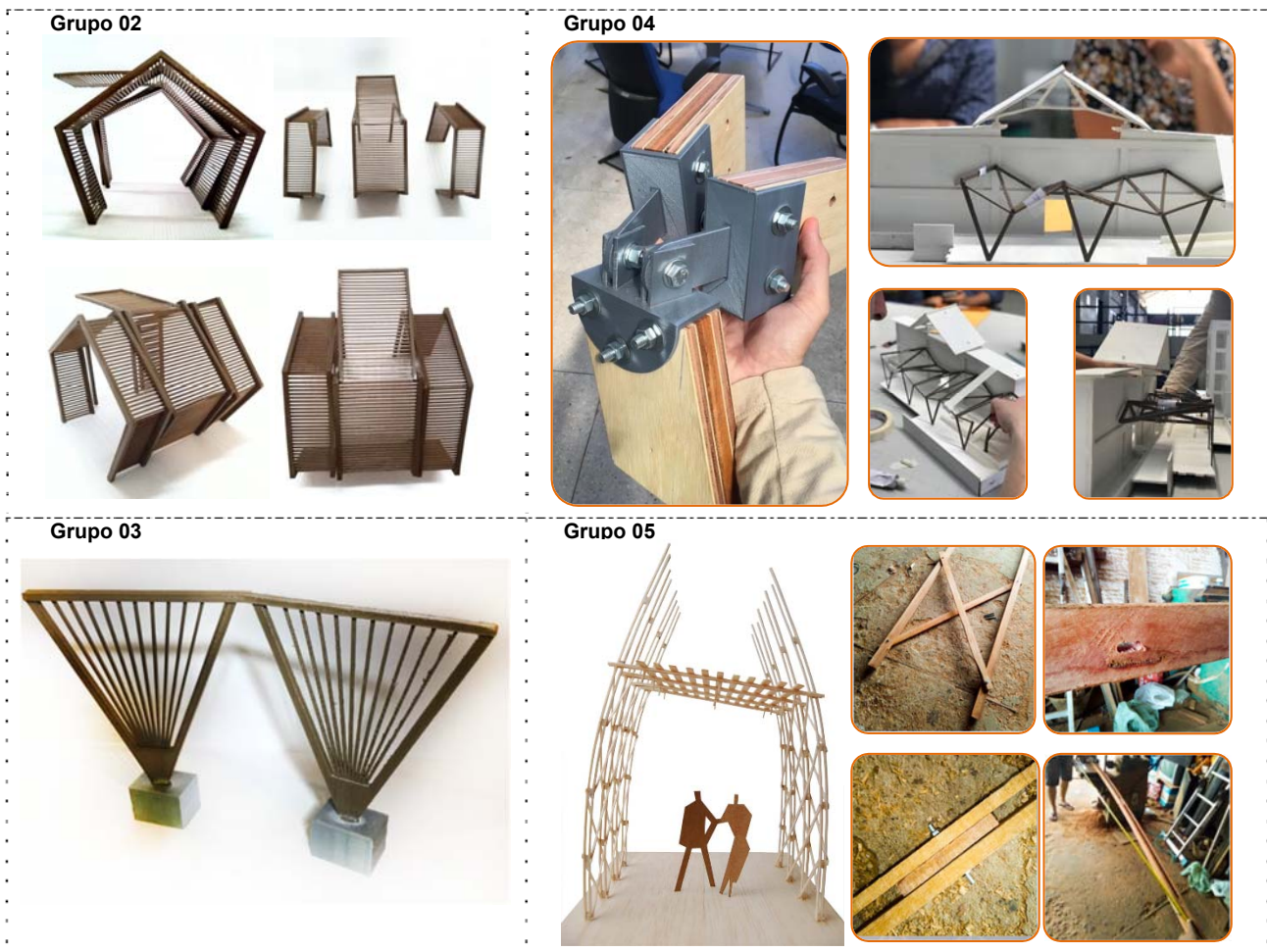
No dia seguinte às entregas, a comissão julgadora analisou os projetos, baseando-se na observância ao atendimento dos requisitos estabelecidos no enunciado do exercício de concepção. Depois de cada um dos membros da comissão votar, individualmente, foi criada uma média dos votos recebidos por cada proposta, quando se chegou ao resultado final (Figura 5 / Figura 5: Tabela).

Figura 5: Tabela de Classificação das equipes no concurso de ideias.

Classificação no concurso de ideias	Identificação das equipes
1º Lugar	Grupo 04
2º Lugar	Grupo 05
3º Lugar	Grupo 02
Menções honrosas	Grupos 01, 03 e 06 (em ordem alfabética)

A etapa final da oficina, de *materialização*, ocorreu em um único encontro de 6 horas-aula. Ficou destinada à montagem dos protótipos dos projetos, com obrigatoriedade apenas para o grupo cuja proposta foi vencedora. Os grupos 02 e 03 produziram um módulo do projeto, em escala reduzida, prototipado em impressora 3D. O Grupo 05, segundo lugar do certame, desenvolveu um módulo em escala 1/50 e um Mock-up de um dos lados do pórtico que definiu o projeto. Foi produzido, pelo grupo vencedor, um protótipo em escala reduzida da área total, incluindo o projeto, em escala 1/50; e outro em escala 1/2, para apresentar a ligação estrutural típica existente no projeto (Figura 6).

Figura 6: Maquetes produzidas pelos grupos 02, 03, 04 e 05.



Fonte: Discentes/participantes da oficina da ação integrada.

5 CONCLUSÃO

A realização da Oficina de Projeto Paramétrico Colaborativo trouxe para os discentes/participantes e organizadores a possibilidade de experimentação de uma nova maneira de produzir projeto, aproximando a reflexão acadêmica, no âmbito do processo de projeto colaborativo, a uma demanda real de construção, e ainda incluindo o uso de ferramentas paramétricas de concepção e representação. No encontro reservado para a produção das maquetes, dia em que a disciplina/ação de extensão foi concluída, houve uma avaliação conjunta por parte dos discentes/participantes e dos professores, quando foram listados pontos positivos e negativos da ação integrada.

Dentre os pontos positivos citados, tem-se: 1) a condição de trabalho colaborativo em equipes mistas, especialmente no que diz respeito à incorporação de engenheiros civis calculistas e arquitetos de diversos perfis para participar do processo; 2) a modalidade utilizada no exercício de *concepção*, que considerou o concurso de ideias, que motivou o aprendizado de uma nova ferramenta de projeto (a modelagem paramétrica) aliada à exequibilidade do objeto arquitetônico, trazendo a possibilidade de fazê-los pensar em novos modos de projetar aliados à construção; e 3) os resultados dos produtos gerados, que surpreenderam positivamente os professores.

O ponto negativo citado pelos discentes/participantes, também percebido pelos professores, foi o pouco tempo destinado à capacitação na ferramenta, considerada complexa. A distribuição inicial do tempo (quatro encontros) levou em consideração a disponibilidade de tempo dos profissionais, assim como o momento de qualificação pelo qual os mestrandos profissionais passariam. A etapa de *capacitação*, apesar de ter explorado diversos tipos de exercícios presencial e não presencialmente, esbarrou no pouco tempo para a maturação dos profissionais no manuseio das ferramentas. Desse modo, a menor parte da turma pôde absorver a modelagem paramétrica com propriedade para conseguir aplicar a um projeto. Isso foi considerado durante o momento de composição das equipes colaborativas, e cada uma contou com pelo uma pessoa com habilidade suficiente para incorporar os preceitos de um projeto paramétrico, demonstrando que não houve desistência de nenhuma das equipes (apesar dos diferentes níveis de habilidades percebidas pelos professores durante os processos de projeto).

Esperamos, para edições futuras da ação integrada, repetir o que foi considerado como positivo e incorporar carga horária maior na etapa de capacitação, buscando assim trazer resultados que serão, muito possivelmente, mais ricos. A experiência da ação integrada oficina de projeto paramétrico colaborativo abre a possibilidade de novos horizontes no tocante ao projeto e a discussão acerca da construtibilidade de formas complexas no âmbito nacional, trazendo como rebatimento local o engrandecimento a pós-graduandos, projetistas da SIN/UFRN e membros externos.

6 REFERÊNCIAS

- AGKATHIDIS, A. *Generative Design*. London: Laurence King Publishing Ltd, 2015.
- BAKER, Geoffrey H. *Le Corbusier: uma análise da forma*. São Paulo: Martins Fontes, 1984.
- BERNSTEIN, P. G. Thinking versus making: remediating design practice in the age of digital representation. In: KOLAREVIC, B.; KLINGER, K. R. (Eds.). *Manufacturing Material Effects: Rethinking Design and Making in Architecture*. New York: Routledge, 2008.
- BOUDON, P. et al. *Enseigner la conception architecturale: cours d'architecture*. Paris: Éditions de la Villette, 2000.
- BOUTINET, J.P. *Antropologia do Projeto*. Porto Alegre: Artmed, 2000.
- BURRY, J.; BURRY, M. *The New Mathematics of Architecture*. 1ª ed. London: Thames & Hudson, 2010.
- CELANI, G.; SEDREZ, M. *Arquitetura contemporânea e automação: prática e reflexão*. São Paulo: ProBooks, 2018.

- CELANI, G.; WALZ, A. A forma não importa. In: CELANI, G.; SEDREZ, M. (Eds.). *Arquitetura Contemporânea e Automação: prática e reflexão*. São Paulo: ProBooks, 2018.
- CHUPIN, J.P. 2003. As três lógicas analógicas do projeto. In: Lara, F.; Marques, S. (org.) *PROJETAR: Desafios e conquistas da pesquisa e do ensino*. Rio de Janeiro: EVC, 2003.
- CORDEIRO, A. L. de M.; ROCHA, G. C. Conceber arquitetura com modelos virtuais: a relevância dos sistemas estruturais. In: CORDEIRO, A. L. de M.; ROCHA, G. da C. (Eds.). *Modelos em Arquitetura: Concepção e Documentação*. João Pessoa: Editora da UFPB, 2017. p. 314.
- DUNN, N. *Digital Fabrication in Architecture*. London: Laurence King Publishing Ltd, 2012.
- FABRICIO, M.; MELHADO, S. O processo cognitivo e social de projeto. In: KOWALTOWSKI, Doris; MOREIRA, Daniel; PETRECHE, João; FABRICIO, Márcio (org.). *O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- FISCHER, T. Geometry Rationalization for Non-Standard Architecture. *Architecture Science.*, v. 5, n. 5, p. 25–47, 2012.
- HANROT, S. *À la recherche de l'architecture: essai d'épistémologie de la discipline et de la recherche architecturales*. Marseille: L'Harmattan, 2009.
- HANROT, S. O workshop: entre pedagogia e engajamento social. In: II ENANPARQ. *Anais...* Natal: Firenze, 2012.
- INEICHEN, J. O Workshop de Arquitetura e urbanismo (W-AU) como dispositivo pedagógico para a formação à concepção colaborativa, Tese de Doutorado. PPGAU/UFRN; ENSA-Marseille, 2016.
- KLINGER, K. R. Relations: information exchange in designing and making architecture. In: KOLAREVIC, B.; KLINGER, K. R. (Eds.). *Manufacturing Material Effects: Rethinking Design and Making in Architecture*. New York: Routledge, 2008. p. 25–36.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K. et al. (orgs). *O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- LAWSON, B. *Como Arquitetos e Designers pensam*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- LEBAHAR, J. C. Analyse cognitive de la conception et de la pédagogie. In: Approche didactique de l'enseignement du projet en architecture. École d'Architecture de Marseille-Luminy, 1999.
- LEEUWEN, J. V.; GASSEL, F. V.; OTTER, A.. Teaching Collaborative Design. In: *Proceedings of the 7th International Workshop on Construction Information Technology in Education*. Istanbul, September/ 2004. Disponível em: http://josvanleeuwen.org/publ/pdf/2004_CITE.pdf Acesso em 10/jul/2019.
- MAHFUZ, E. *Ensaio sobre a razão compositiva*. Belo Horizonte: UFV/AP Cultural, 1995.
- MANGELSDORF, W. Structuring Strategies for complex geometries. *Architectural Design*, London, v. 80, n. 4, p. 40–46, 2010.
- MENDELSON, R. The Constructibility Review Process: A Constructor's Perspective. *Journal of Management Engineering*, v. 13, n. 3, p. 17–19, 1997.
- MONTEIRO, V.M.L. A construtibilidade no processo de projeto paramétrico. Projeto de Qualificação de Doutorado, PPGAU/UFRN, 2018.
- OTHMAN, A. A. Improving Building Performance through Integrating Constructability in the Design Process. *Organization, Technology and Management in Construction: An International Journal*, v. 3, n. 2, p. 333–347, 2011. Disponível em: <http://www.grad.unizg.hr/otmcj/clanci/vol3_is2/Clanak_6_OTMCJ_2_2011_web-5.pdf>
- OXMAN, R.; OXMAN, R. Introduction-The new structuralism: Design, Engineering and Architectural Technologies. *Architectural Design*, London, v. 80, n. 206, p. 14–23, 2010. Disponível em: <<http://books.google.com/books?id=yPaAQgAACAAJ&pgis=1>>
- PICON, A. Architecture and the Virtual: Towards a New Materiality. In: SYKES, K. (Ed.). *Constructing a New Agenda: Architectural Theory 1993-2009*. Kindle ed. New York: Princeton Architectural Press, 2010.
- PIÑÓN, H. *Curso Básico de Proyectos*. Barcelona: Edicions UPC, 1998.
- PIÑÓN, Helio. El proyecto como (re)construcción. Barcelona, Edicions UPC: 2005.
- POTTMAN, H. Architectural Geometry as Design Knowledge. *Architectural Design*, v. 80, n. 4, p. 72–77, 2010.
- SCHEURER, F. Materialising Complexity. *Architectural Design*, London, v. 80, n. 4, p. 86–93, 2010.
- SCHÖN, D. A. *Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem*. Trad. Roberto Cataldo Costa. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.
- SEDREZ, M.; GAUSS, F. Projetando e fabricando a complexidade. In: CELANI, G.; SEDREZ, M. (Eds.). *Arquitetura Contemporânea e Automação: prática e reflexão*. São Paulo: ProBooks, 2010.
- SHELDEN, D. R. *Digital Surface Representation and the Constructability of Gehry's Architecture*. 2002. Massachusetts

Institute of Technology, Cambridge, 2002.

SNYDER, J.; CATANESE, A. (Orgs.). *Introdução à arquitetura*. Rio de Janeiro: Campus, 1984.

SOBEK, W. Radical Sources of Design Engineering. *Architectural Design*, v. 80, n. 4, p. 24–33, 2010.

SYKES, K. Introduction. In: SYKES, K. (Ed.). *Constructing a New Agenda: architectural theory 1993-2009*. New York: Princeton Architectural Press, 2010.

UNWIN, S. *Vinte edifícios que todo arquiteto deve compreender*. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2013.

VELOSO, M. Concepção de ideias em workshops de arquitetura e urbanismo: uma análise de duas experiências internacionais. In: *Cadernos Proarq, ed.21*, PROARQ/UFRJ, agosto de 2014.

VELOSO, M. F. D.; ELALI, G. V. M. A. Ensinando (novas) rezas a (velhos) vigários: a integração de saberes e fazeres no atelier de projeto do mestrado profissional. In: V PROJETAR. *Anais...* Belo Horizonte: EdUFMG, 2011. p. 1-18.

VELOSO, M. Novas pedagogias do projeto face aos desafios do século XXI. CNPq. Projeto de Pesquisa / Produtividade, 2018. Processo nº 308931/2018-1.

WOODBURY, R. *Elements of Parametric Design*. New York: Routledge, 2010.

NOTA DO EDITOR (*) O conteúdo do artigo e as imagens nele publicadas são de responsabilidade do(s) autor(es).