

Architectural Design Methodology: an Approach to Greg Lynn's Bioinspiration

Carlos Quedas Campoy, Fernando Guillermo Vázquez Ramos¹

¹ Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, Brasil
prof.carloscampoy@usjt.br; prof.vazquez@usjt.br

Abstract. In the Brazilian architectural context of professional and academic design, due to some cultural resistance to learning, there is a condition of technological/design accommodation in software such as AutoCAD and SketchUp, while BIM still faces difficulties in acceptance and employability. From Design Science Research, Greg Lynn's bioinspired design and its adaptation to local settings, as methodological approaches, an operational and conceptual methodology to aid architectural inventive thinking is proposed in conjunction with a testing laboratory to evaluate it through an internal perspective within the studied context. Although primal volumetric solutions have been generated, the resistance to learning has been strongly manifested and inventive design thinking has proven to be incipient based on form speculations and unclear personal preferences. There is an interest in approaches derived from the field of performative architecture, which works with clear and objective criteria.

Keywords: Bioinspiration, Methodology, Greg Lynn, Grasshopper, BIM

1 Introdução

Esta pesquisa atenta para o processo colaborativo de projeto auxiliado por computadores, até a proposição de *partidos arquitetônicos* (Lemos, 2003) volumétricos. As perspectivas da *era pós-digital*, da difusão da *Cultura Digital* e da pandemia COVID-19, intensificando os trabalhos síncronos à distância, seguem transformando as dinâmicas inventivas (Alhusban, 2022; Alves, 2022; Cramer, 2015; Espíndola, 2022; Jiang; Wang, 2022; Özer, 2022; Speaks, 2020). Considera-se especialmente a dimensão operacional formada por softwares do campo da informática aplicada, que podem auxiliar com a construção do pensamento (Lynn, 1999, 2008; Mitchell, 2008; Speaks, 2012).

Esse conjunto (perspectivas, ferramentas e pensamento inventivo) é compreendido, aqui, como um ambiente tecnológico/projetivo. Em um amplo sentido, notam-se movimentações significativas em curso, mas outras ainda potenciais, dependendo do contexto estudado. Trabalha-se dentro do contexto

brasileiro de projeto e acadêmico, respectivamente, formados por arquitetos atuantes no mercado da Arquitetura, Engenharia e Construção Civil (AEC), assim como por professores e alunos dos cursos de Arquitetura e Urbanismo.

Não estritamente como um problema, pois não é impeditiva para boas práticas, mas como uma condição peculiar, que abre para o espaço de uma questão, estudos (Alves, 2022; Araújo, 2016; Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2021; Castelo, 2018; Costa, 2017; EPEC, 2020; Nemer; Klein, 2021; SINDUSCON, 2021) apontam uma consolidação e/ou acomodação operacional/projetiva. Referem-se aos usos dos softwares AutoCad, como uma ferramenta de desenho bidimensional para representação, e Sketchup, para *modelagens diretas* (Anelli, 2021; Tramontano, 2011), realizadas sobre o objeto. Por outro lado, a tecnologia BIM ainda está em ascensão. Para uma configuração distinta a tal condição, enfrentam-se algumas dificuldades; uma, entre outras, está na resistência cultural à aprendizagem.

Reflete-se que essa resistência, além de ocasionar o descrito no parágrafo anterior, impede o aproveitamento de um potencial plausível que um ambiente tecnológico/projetivo adequado ao contexto nacional (que não se desvincula da primeira perspectiva apresentada) tem a oferecer. Todavia, propor uma dimensão operacional sem uma base conceitual para sustentá-la e para dar sentido metodológico, tende a reiterar tal condição peculiar.

O objetivo geral é voltado a oferecer um ambiente para tentar abrandar a resistência cultural e a periodização da *curva de aprendizagem* (Prasetyo, 2019), assim como extrapolar aquela condição peculiar por uma abordagem operacional/projetiva distinta da que está consolidada e de incentivo ao BIM.

O objetivo específico é direcionado para desenvolver uma metodologia de auxílio à construção do pensamento inventivo formada por duas dimensões sobrepostas e interdependentes: uma operacional e outra conceitual. A operacional é focada em *modelos algorítmico-paramétricos* digitais, interconectáveis entre si, dentro dos âmbitos interseccionados do *Design Intelligence* (Speaks, 2012, 2013) e do *Parametric Design Thinking* (Oxman, 2017). Espera-se abrandar a curva de aprendizagem ao trabalhar com modelos, ao invés de programações desde a tela vazia. A dimensão conceitual é de base bioinspirada. Ambas dimensões são pensadas a partir da obra do arquiteto Greg Lynn (1999, 2004a, 2004b, 2007, 2008, 2009).

Lynn desenvolve os seus *meta-processos* (Speaks, 2012, 2013) pela programação de modelos digitais. Em algumas configurações, o computador é um sócio (Dollens, 2002; Zellner, 1999) ativo, como uma entidade generativa. Nas demais situações, propõe-se entendê-las como outro tipo de parceria: leve, pois utiliza programações de fábrica dos softwares para as modelagens, ainda que complexas e *indiretas* (Anelli, 2021; Tramontano, 2011), realizadas por programações. Entretanto, Lynn opera sobre o software Maya e outros voltados ao campo dos efeitos especiais da indústria cinematográfica, que não possuem proximidade ao ambiente tecnológico/projetivo brasileiro.

Procede-se com uma nacionalização dessa dimensão operacional – o potencial plausível proposto, sem menosprezo ao trabalho de Lynn –, para

modelos algorítmico-paramétricos do Grasshopper associados ao ambiente colaborativo BIM por meio da tecnologia Rhino.inside.Revit. Os modelos são programados para gerar, de forma procedural, passiva e ativamente (por Sistemas Generativos e funções pseudo-aleatórias, nessa última condição) partidos arquitetônicos, assim como para auxiliar com a Prototipagem Rápida, pensando em uma dimensão física/construtiva, também procurando quebrar as *fronteiras entre mídias digitais e não-digitais na produção* (Cramer, 2015; Jiang; Wang, 2022). Distancia-se da ideia de um *simulacro* (Baudrillard, 1991).

A dimensão conceitual, contribuindo com o meta-processo, não é um objetivo novo, mas sim descrita, analisada e refletida. É proveniente dos estudos que Lynn realizou acerca dos trabalhos do zoólogo escocês D'Arcy Thompson e do biólogo britânico William Bateson. O arquiteto explica como estruturas biológicas codificam, transformam e transmitem sistemas de informações. Aceitando que existe convergência entre os campos da Biologia e da Matemática, Lynn traduz o comportamento de tais estruturas para modelos digitais, no intuito de gerar alguns partidos arquitetônicos volumétricos. Trabalha com ações de vetores, em um espaço que não é vazio e nem inerte, portanto, diferente do cartesiano. As suas *táticas astutas* (Lynn, 2004b), bioinspiradas, são maneiras de interpretar a complexidade e o dinamismo do meio ambiente e de promover o nascimento, o comportamento e a transformação da forma, em geral não-euclidiana (topológica). Desenvolve objetos do tipo *forma livre*, de caráter comportamental de *morfologia suave*, responsivos a um meio ambiente (digitalizado) de maneira não-invasiva, adaptando-se ao contexto (Chu, 2005). Observa-se uma associação entre o processo de projeto arquitetônico e o escopo do ambiental, do biomimético e do sustentável (Celani, 2011; Dollens, 2005; Salingaros, 2010).

Procurando um olhar externo, pertinente ao contexto estudado, aplica-se e avalia-se esta metodologia em um laboratório de testes. Questiona-se sobre as dimensões operacional e conceitual serem capazes de auxiliar com a construção do pensamento inventivo, como também se é uma abordagem relevante para alcançar o objetivo geral. Os testes são direcionados aos alunos e aos professores do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade São Judas Tadeu (São Paulo/SP, Brasil). Todavia, não há uma fundamentação estatística com um grupo tão reduzido e localizado; nem é essa a intenção desta pesquisa, mas sim verificar alguns protocolos apresentados como uma possibilidade de estudo prático para os objetivos colocados.

2 Metodologia

A abordagem teórica e conceitual é desenvolvida por *revisão bibliográfica* (Lakatos; Marconi, 2019) e incorporação de interpretações locais. Para a estruturação de alguns protocolos e da própria pesquisa, emprega-se o *Design Science Research* pela categoria dos *Métodos* (Dresch, 2020).

A definição das programações dos modelos e das suas geometrias resultantes, vinculada com a dimensão conceitual, dá-se por meio do estudo de alguns projetos arquitetônicos de Greg Lynn (1999, 2008).

Para o laboratório de testes, são oferecidos dois materiais didáticos para estudo prévio aos encontros presenciais: “A”, que explica em detalhes as táticas astutas (abordagens projetivas conceituais desenvolvidas por Greg Lynn), os modelos e as suas funções/objetivos; e “B”, que enfatiza apenas o caráter formal dos modelos. Aplica-se a metodologia de ensino/aprendizagem *sala de aula invertida* (Bergmann, 2016), pois tende a contribuir com a análise de parte dos protocolos. Exercícios contendo enunciados semelhantes a como Lynn apresenta os seus projetos são introduzidos, porém, são omitidos os títulos e as soluções formais.

Os protocolos para o laboratório, avaliados por *observação direta* (Lakatos; Marconi, 2019), são: i) Refletir sobre a suavização da curva de aprendizagem e da resistência cultural, pela metodologia arquitetônica proposta, pelo trabalho colaborativo sobre o ambiente BIM e pelos materiais didáticos; questiona-se sobre a influência que esses materiais didáticos possam ter sobre as atividades. ii) Observar se estruturas (fortes definidoras dos partidos arquitetônicos) são elaboradas, como uma forma de procurar entender os dois universos distintos (alunos e professores). Talvez, apenas os professores demonstrem essa preocupação, desde uma abordagem de construção do pensamento. iii) No intuito de refletir se esta metodologia contribui com a construção do pensamento inventivo, verifica-se como as produções colaborativas de partidos são desenvolvidas, pelos pontos de vista operacional digital, conceitual e das maquetes físicas. Como indicadores, procura-se o surgimento de algumas estratégias pontuadas pelo pesquisador da metodologia de projeto (*Design Thinking*) Bryan Lawson (2011): heurística, restrições de projeto, princípios condutores, geradores primários, emolduramento de problemas, linhas paralelas de pensamento e o reflexo em ação. Entende-se que essas estratégias abarcam um caráter interno ao campo disciplinar arquitetônico, quando comparadas com aquelas de Greg Lynn, que, por sua vez, tendem a ser transversais a tal campo, especialmente quando observado o contexto brasileiro acadêmico e de projeto.

Os seguintes exercícios são introduzidos: A) Uma residência unifamiliar do tipo Blob. Projeto de referência: Embryological House. B) Uma cobertura entre edifícios. Projetos de referência: Cardiff Bay Opera House, 5.900 Wilshire Boulevard Restaurant and Trellis Pavilion, ISTA, Multifunktion e Predator. C) Um acréscimo de volumetria em edifício preexistente. Projetos de referência: BMW Design Headquarters, Cincinnati Country Day School, 8.000 Housing, H2 House OMV, Kleiburg Block, Eyebeam e Korean Presbyterian Church of New York. D) Uma residência de veraneio com áreas de atração por interesse de uso. Projeto de referência: Citron House. E) Dois pavilhões para exposições. Projetos de referência: H2 House: OMV Aktiengesellschaft Visitor's Pavillon, 5.900 Wilshire Boulevard Restaurant and Trellis Pavilion, Artists Space e Henie Onstad. F) Uma programação básica no Grasshopper, desde a tela vazia:

Elaborar uma caixa; aplicar uma cópia e posicioná-la sobre a anterior; inclinar a peça superior; copiar rotacionando esse conjunto; transferir as formas para o Revit. Projeto de referência: World Trade Center. G) Um terminal portuário. Projetos de referência: Yokohama Port Terminal, Port Authority, Ark of the World, Atlantis Sentosa, Biennale Park Pavilion, e Stranded Sears Tower.

O laboratório de testes é constituído por três turmas, que ocorrem entre março e junho de 2023, cada uma delas com uma carga horária de doze horas divididas em três encontros presenciais. A Turma 01 é composta por sete alunos e três professores. A Turma 02 por cinco alunos e um professor. A Turma 03 por sete alunos. Todas as turmas estão sob a tutoria dos autores deste trabalho.

3 Desenvolvimento

Observa-se que o limite entre as estratégias e as táticas de Greg Lynn é enevoado ou impreciso, pois se refere às abordagens gerais provenientes de conceitos abstratos por tática formal. Todavia, interessa-se em como Lynn busca inspiração nos comportamentos conceituais/abstratos e em estruturas biológicas *para reafirmá-los como dinâmicas arquitetônicas* (Dollens, 2002).

As táticas astutas, ou *o dobrado, o elástico e o flexível* (Lynn, 2004b), são formadas por uma convergência entre os campos da Matemática e da Biologia, mas também da Filosofia e do cálculo integral. Enfatiza-se, aqui, as conceituações aproximadas aos dois primeiros campos. Tem-se: a intrincação, a suavidade, a flexibilidade e a viscosidade, pela continuidade da forma, com variações e com propriedades envolvendo adesão e coesão. Adicionalmente, tem-se a complicação, que ocorre quando um embrião, de caráter provisório (genérico, neste caso), dobra-seativamente sobre si em alguma quantidade de variações à medida que se torna mais complexo. As formas topológicas podem passar por perturbações ou por influências de forças internas e externas, como mutações, que alteram as relações entre simetria e assimetria.

Os objetos topológicos são manifestados por Lynn parametricamente, como polisuperfícies isomórficas: o blob e o metaball, mas também por cascas. O metaball possui uma zona relacional de viscosidade por forças gradientes. Pelas definições no Grasshopper, chegou-se a alguns modelos.

Os modelos de 01 a 04 são da categoria Blob. O modelo 01, como um embrião, parte de uma esfera que pode se desdobrar (complicar) em outras formas. Trabalha também com forças e vetores de um meio ambiente. Pela função pseudo-aleatória do componente Gene Pool, o computador é um sócio ativo. O modelo 02 “gruda” em uma preexistência. Pela função pseudo-aleatória do Perlin Noise, distorcendo a superfície, o computador é um sócio ativo. O modelo 03, formado por metaballs, permite controlar as forças na zona relacional e aumentar as quantidades de objetos. O computador é um parceiro leve. O modelo 04 é pensado como uma alternativa para as zonas relacionais

por atração, mas simulando o agrupamento de células (partículas, neste caso). Por cinemática inversa, pode-se formar blobs. O computador é um sócio ativo. As figuras 1 e 2 apresentam graficamente algumas geometrias possíveis e as suas programações para os quatro modelos descritos:

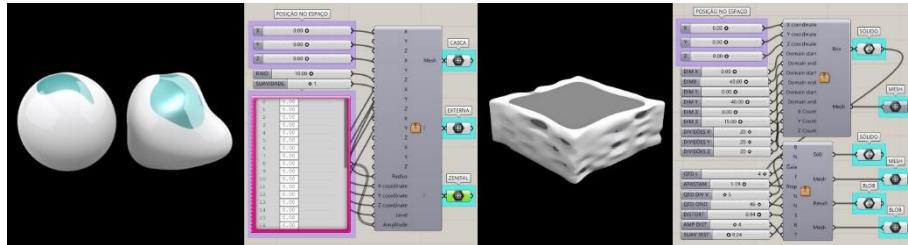


Figura 1. Os modelos 01 e 02. Elaborada pelos autores, 2023.

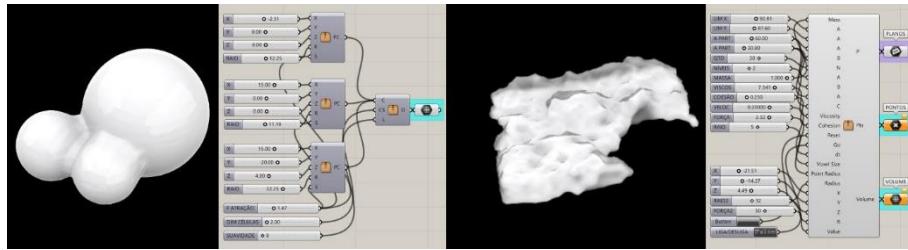


Figura 2. Os modelos 03 e 04. Elaborada pelos autores, 2023.

O modelo 05 é o único da categoria de superfícies. Permite a invenção de abóbadas e outros tipos de cascas arredondadas e facetadas. O computador é um parceiro leve. O modelo 06 proporciona a elaboração de uma caixa, na qual uma das suas faces pode ser transformada em ondas de maneira manual e pseudo-aleatória pelo Gene Pool. O computador pode ser um parceiro ativo ou leve. A figura 3 apresenta graficamente algumas geometrias possíveis e as suas respectivas programações para tais modelos.

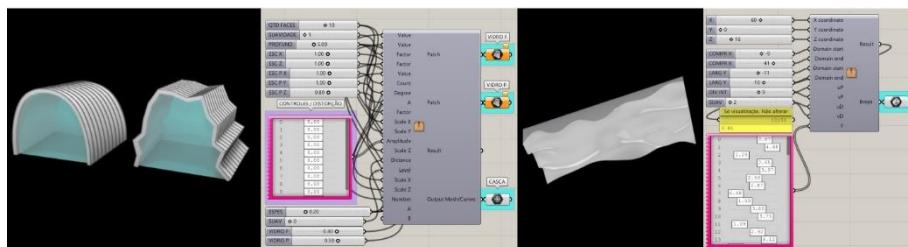


Figura 3. Os modelos 05 e 06. Elaborada pelos autores, 2023.

O modelo 07 auxilia com a intercambialidade das geometrias entre o Grasshopper e o Revit, como massas, estruturas ou modelos genéricos.

Empregou-se componentes presentes no Grasshopper provenientes da tecnologia Rhino.inside.Revit. O modelo 08 contém três programações internas. Foram pensadas para a formação de algumas estruturas e para a Prototipagem Rápida. A primeira programação transforma qualquer geometria volumétrica em estrutura do tipo waffle. A segunda divide superfícies curvas em painéis triangulares definindo algumas articulações. A terceira planifica os objetos. Todas oferecem numerações automáticas para as peças. O computador é um sócio ativo. O método eleito foi o corte a laser. A figura 4 demonstra as programações desses modelos, cujas geometrias são apresentadas na figura 8.

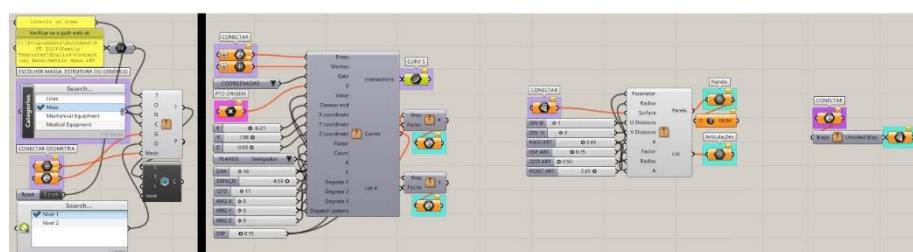


Figura 4. Os modelos 07 e 08. Elaborada pelos autores, 2023.

Como Sistemas Generativos, empregam-se o Galapagos e o Biomorpher, por serem estruturados sobre a técnica Algoritmos Genéticos (adesão à bioinspiração). Destaca-se que a função pseudo-aleatória dos componentes Gene Pool e Perlin Noise, comentada anteriormente, não é obrigatória, mas uma alternativa aos Sistemas Generativos para geração e/ou transformação da forma, na qual o computador é um sócio ativo do arquiteto.

4 Resultados

Na Turma 01, apenas um professor estudou previamente o material didático A. Procedeu-se com a *sala de aula invertida*. Trabalhou-se com os Exercícios A e E. Os integrantes utilizaram, respectivamente, os modelos 01 e 03; 02, 05, 06 e 08. Os resultados formais são apresentados a seguir:

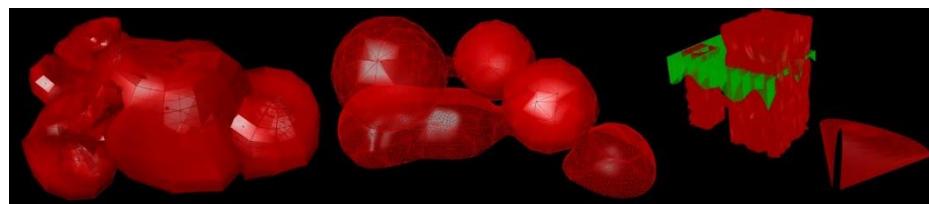


Figura 5. Da esquerda para a direita: as duas primeiras formas para o Exercício A; as restantes, para o Exercício E. Elaborada pelos autores, 2023.

Como um controle para os protocolos, foi direcionado para a Turma 02 o material didático B. Contudo, ninguém o estudou. O material foi consultado durante as atividades. Foram trabalhados os Exercícios B, C e D. Respectivamente, os modelos utilizados foram: 06 e 08 (waffle); 02; e 04. Os resultados formais:

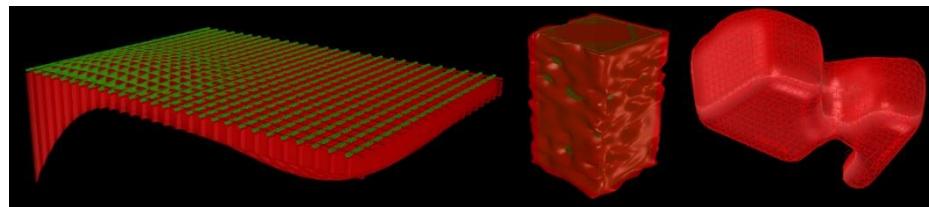


Figura 6. Da esquerda para a direita: as formas para os Exercícios B, C e D. Elaborada pelos autores, 2023.

Na Turma 03, dois alunos estudaram previamente o material didático A. Procedeu-se com a *sala de aula invertida*. Trabalhou-se o Exercício G. Os integrantes utilizaram os modelos 01 e 06. Os resultados formais:

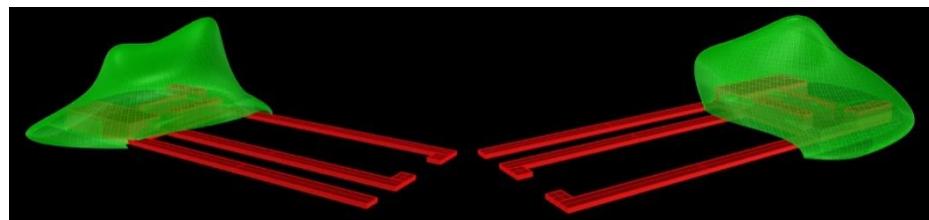


Figura 7. As formas para o Exercício G. Elaborada pelos autores, 2023.

Quanto à Prototipagem Rápida, desenvolveu-se algumas geometrias genéricas para a Turma 01, devido ao seu baixo rendimento. Para as demais turmas, trabalhou-se com as formas geradas pelos integrantes. Algumas imagens de parte das maquetes elaboradas em papel hörlle 1.8 mm:

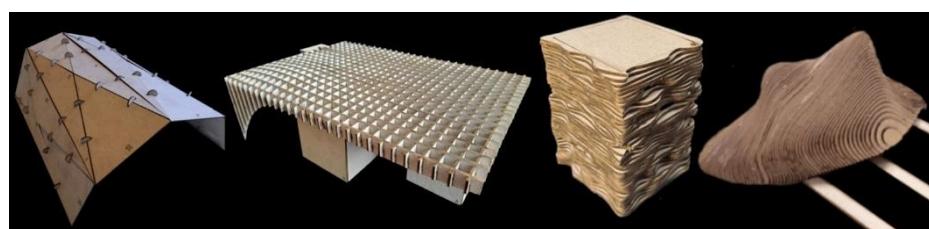


Figura 8. As Prototipagens Rápidas. Elaborada pelos autores, 2023.

5 Discussão

Percebe-se um descompasso entre a disponibilidade tecnológica/projetiva e o que é praticado no campo arquitetônico brasileiro – ainda que por meio um âmbito local –, não pela ausência de acesso às ferramentas e aos recursos digitais, mas por confirmação daquela consolidação e/ou acomodação metodológica ocasionada por resistência cultural de aprendizagem. Não é possível afirmar que exista a permeabilidade da *Cultura Digital* e do entendimento do que cerca a *era pós-digital* aplicados ao contexto estudado de maneira prática, mesmo oferecendo dimensões operacionais e conceituais vinculadas a tal perspectiva. Tampouco é evidente que a plataforma BIM esteja inteiramente em ascensão em território nacional, especialmente em pequenos grupos, como o estudado aqui. Para efeitos do laboratório de testes, notou-se que o Revit (BIM) não é próximo aos integrantes. A maioria operou o software pela primeira vez. Aqueles que já conheciam o programa tiveram dificuldades com operações e com procedimentos básicos, assim como desconheciam os trabalhos colaborativos por meio da nuvem Autodesk 360, do compartilhamento e sincronização de modelos de informações, de worksets e de gerenciamento de vínculos externos.

O trabalho colaborativo foi realizado com êxito, mas apenas presencialmente pela divisão de tarefas e aberturas de frentes simultâneas de trabalho. Partidos arquitetônicos atenderam aos enunciados, embora de forma superficial. Ainda que cascas e blobs possivelmente autoportantes tenham sido projetados digitalmente, o pensamento voltado às estruturas (estabilidade física/geométrica) só compareceu por necessidade imposta pela fase de Prototipagem Rápida. Assim, não houve distinções entre alunos e professores. Todas as decisões projetivas foram tomadas com base em especulações da forma e em gostos pessoais não-claros.

O computador, como um sócio ativo, tende a agradar enquanto está no campo inicial das ideias. Na prática, os integrantes desistiram de operações e de Sistemas Generativos considerados complicados, que, por sua vez, demandam um tempo considerável de estudo. Existe a preferência de parceria ativa apenas pelas abordagens facilitadas das funções pseudo-aleatória e aquelas voltadas à Prototipagem Rápida.

Identificou-se claramente as estratégias reflexo em ação e heurística pelo desenvolvimento prático do processo de projeto (reflexivo, iterativo) e de descoberta, por teste e erro, das funções e operações dos modelos. Em menor grau compareceram alguns princípios condutores, para contornar a falta de justificativas claras para certas decisões, e alguns geradores primários, como as próprias geometrias volumétricas.

Portanto, a dimensão operacional, aqui proposta, pode auxiliar com a construção do pensamento inventivo. É plausível extrapolar aquela condição peculiar brasileira apontada. Contudo, depende-se especialmente de como a metodologia é aprendida. Talvez por meio de um curso de longa duração, em

moldes convencionais expositivos de conteúdo, possa-se obter resultados mais positivos do que os apresentados nesta pesquisa.

Por outro lado, a dimensão conceitual bioinspirada (as táticas astutas) foram considerados extremamente difíceis de entendimento, assim como distantes do campo arquitetônico, embora os integrantes confessem que são instigantes. Portanto, não compreenderam como e porque os modelos foram elaborados. Sugere-se que pesquisas decorrentes desta empreguem outro suporte conceitual, dada a sua relevância para a construção do pensamento.

Abrandou-se a periodização da curva de aprendizagem pelo uso dos modelos. Nenhuma das turmas conseguiu realizar o exercício F, que solicitava uma programação simples desde a tela vazia. Apenas a disponibilidade de materiais didáticos não foi suficiente, mesmo porque, por uma atitude passiva dos integrantes, não foi possível implementar a metodologia sala de aula invertida. Em geral, os experimentos prosseguiram lastreados nas pré-programações dos modelos e em uma atitude ativa por parte do instrutor, que constantemente foi solicitado como um repositório de informações.

Assim sendo, abrandou-se a resistência cultural de aprendizagem de maneira incipiente, apenas por uma curiosidade inicial que alunos e professores têm acerca do Grasshopper integrado com a tecnologia BIM e a Prototipagem Rápida, mas observa-se que foi criada uma expectativa por soluções prontas, apenas para serem aplicadas com certa facilidade.

Pelos interesses demonstrados pelo grupo local, mas também pensando de forma ampliada para outros contextos de pesquisas, sugere-se atenção à integração da metodologia com os softwares AutoCad e Sketchup. Prosseguindo, a Prototipagem Rápida é apontada como extremamente relevante para o processo de projeto, em conjunto com as elaborações digitais, pela compreensão da dimensão física (objetiva). Pelas dificuldades em desenvolver o pensamento abstrato, ademais sugere-se trabalhar enfaticamente com a *morfogênese digital* oriunda de critérios claros e objetivos, como aqueles trabalhados no âmbito da *Arquitetura Performática* (Kolarevic; Malkawi, 2005).

Referências

- Alhusban, A. A., Alhusban, S. A., & Alhusban, M. A. (2022). How the COVID 19 pandemic would change the future of architectural design. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 20(1), 339-357.
- Alves, G. M.; Dias, M.; Trujillo, J. (2022). *Algo+ritmo*: reflexões sobre ensino, pesquisa e extensão em arquitetura e urbanismo. São Paulo: ProBooks.
- Anelli, R. L. S. (2021). Virtualidade e materialidade: ponderações sobre os procedimentos de projeto estruturados por novas tecnologias de informação. *Risco*, (19), São Paulo, Brasil, 96-101.

- Araújo, C. M. (2016). Simulação de modelos de edifícios utilizando a tecnologia BIM. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade São Judas Tadeu, São Paulo.
- Baudrillard, J. (1991). *Simulacros e simulação*. Portugal: Relógio D'água.
- Bergmann, J. (2016). *Sala de aula invertida: uma metodologia ativa de aprendizagem*. Rio de Janeiro: LTC.
- Câmara Brasileira da Indústria da Construção. (2021). Comissão de Materiais, Tecnologia, Qualidade e Produtividade - COMAT. <https://tinyurl.com/yb2dy334>.
- Castelo, A. M.; Marcellini, L.; Viana, L. (2018). A construção digital parte 2. *Blog do IBRE*, [s. l.], 23 out. <https://tinyurl.com/nhhuje9w>.
- Celani, G. (2011). Algorithmic Sustainable Design: Uma visão crítica do projeto generativo. *Vitruvius - Resenhas Online*, 116.03, ano 10, ago.
- Chu, K. (2005). Metafísica de la arquitectura genética y la computación. In: Estévez, A. T. (2005). *Arquitecturas genéticas II: medios digitales y formas orgánicas*. Barcelona: ESARQ/SITES Books.
- Costa, T. F.; Lima, D. F.; Sousa Junior, A. M. (2017). Avaliação da usabilidade de sistema no modo clássico e drafting e annotation do Autocad 2014. *Holos*, (2), Natal, 148-160.
- Cramer, F. (2015). What is 'Post-digital'? . *Postdigital aesthetics: Art, computation and design*, 12-26.
- Dollens, D. (2002). *De lo digital a lo analógico*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Dollens, D. (2005). *Digital botanic architecture*. Lumen Books.
- Dresch, A.; Antunes, J. J. A. V.; Lacerda, D. P. (2020). *Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Porto Alegre: Bookman.
- EPEC. (2020). Por que BIM é o futuro da construção civil e como se adaptar. *EPEC Engenharia Civil*, Santa Catarina. <https://tinyurl.com/3sa7wud2>.
- Espíndola, F. P.; Campos, G. B. (2022). Ubiquitous Narratives for the Design of Natural and Invisible Interfaces. *26th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics (SIGraDi): Critical Appropriations*, Lima, Peru, 616-625.
- Jiang, W., & Wang, J. (2022). Autonomous collective housing platform: digitalization, fluidization and materialization of ownership. *26th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics (SIGraDi): Critical Appropriations*, Lima, Peru, 14-25.
- Kolarevic, B.; Malkawi, A. (2005). *Performative Architecture*. New York: Routledge.
- Lakatos, E. M.; Marconi, M. D. A. (2019). *Fundamentos de metodologia científica*. 8ª. ed. São Paulo: Atlas.
- Lawson, B. (2011). *Como arquitetos e designers pensam*. Tradução de Maria Beatriz Medina. São Paulo: Oficina de Textos.
- Lemos, C. (2003). *O que é arquitetura*. São Paulo: Brasiliense.

- Lynn, G. (2009) Greg Lynn: How calculus is changing architecture.
<https://tinyurl.com/2kketu4v>
- _____. (2008). *Greg Lynn Form*. New York: Rizzoli.
- _____. (2007). Excerpts from a working session with Greg Lynn and CCA curator Howard Shubert recorded in Lynn's Venice, California, studio on 29-30 October.
- _____. (2004a). Architectural curvilinearity: the folded, the pliant and the supple. *Architectural Design: Folding in Architecture*, West Sussex.
- _____. (2004b). Introduction. *Architectural Design: Folding in Architecture*, West Sussex.
- _____. (1999). *Animate Form*. New York: Princeton Architectural Press.
- Mitchell, W. J. (2008). *A lógica da arquitetura: projeto, computação e cognição*. Tradução de Gabriela Celani. Campinas: Unicamp.
- Nemer, L.; Klein, I. (2021). Rhinoceros 3D e Grasshopper: as apropriações da modelagem e da programação no desenho urbano para habitação social. *Revista Brasileira de Expressão Gráfica*, 9(1), 69-85.
- Oxman, R. (2017). Thinking difference: theories and models of parametric design thinking. *Design Studies*, (52), 4-39.
- Özer, D. G.; Erdil, F.; Kıldış, K. (2022). A Pre-Evaluation Tool for Interior Designs of HighRise Office Buildings by User Movement Simulation after Covid'19. *26th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics (SIGraDi): Critical Appropriations*, Lima, Peru, 26-36.
- Prasetyo, H.; Rosyidi, C. N.; Pujianto, E. (2019). On optimizing the number of repetition in an operation skill training program based on cost of quality and learning curve. *Cogent Engineering*, (6), 1-16.
- Salingaros, N. A. (2010). *Twelve Lectures On Architecture: Algorithmic Sustainable Design*. 1^a, Solingen, Umbau-Verlag.
- SINDUSCON. Capacitação visa adaptar construção ao uso do BIM, [s. l.], SINDUSCON PARANÁ NORTE, 2021. <https://tinyurl.com/uxewr74p>.
- Speaks, M. (2020). Architecture in 2020: through the decades career panel. School of architecture lectures series - Syracuse University, Outubro 29, 2020.
- _____. (2013). Inteligência de projeto. In: Sykes, A. K. (2013). *O campo ampliado da arquitetura: antologia teórica 1993-2009*. São Paulo: Cosac Naify, 156-164.
- _____. (2012). Michael Speaks: Design Intelligence vs Ideology. The University of Hong Kong: Lecture Spring 2012 Public Lecture Series, Hong Kong, Fevereiro 03.
- Tramontano, M.; Anelli, R. L. S.; Nojimoto, C. (2011). Design paramétrico: experiência didática. *15th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics (SIGraDi): Cultura Aumentada*, Santa Fé, AR, 456-460.