

Dissertação de Mestrado

Arquitetura bio-inspirada: uma experiência de ensino  
de projeto intermediada por tecnologias paramétricas de  
modelagem e fabricação digital

Yuri Assis Pinto



Universidade Federal de Santa Catarina  
Programa de Pós-Graduação em  
Arquitetura e Urbanismo



YURI ASSIS PINTO

**ARQUITETURA BIO-INSPIRADA: UMA EXPERIÊNCIA DE  
ENSINO DE PROJETO INTERMEDIADA POR TECNOLOGIAS  
PARAMÉTRICAS DE MODELAGEM E FABRICAÇÃO DIGITAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura Urbanismo do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina.

Área de concentração: Arquitetura Bio-inspirada e tecnologias digitais.

**Linha de Pesquisa:** Projeto e Tecnologia.

**Orientadora:** Profa. Dra. Regiane Trevisan Pupo

Florianópolis  
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pinto, Yuri Assis

Arquitetura bio-inspirada: uma experiência de ensino de projeto intermediada por tecnologias paramétricas de modelagem e fabricação digital / Yuri Assis Pinto ; orientador, Regiane Trevisan Pupo, 2018.

108 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. arquitetura bio inspirada;. 3. arquitetura paramétrica; . 4. modelagem algorítmica; . 5. fabricação digital.. I. Pupo, Regiane Trevisan. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

YURI ASSIS PINTO

ARQUITETURA BIO-INSPIRADA: UMA EXPERIÊNCIA DE  
ENSINO DE PROJETO INTERMEDIADA POR TECNOLOGIAS  
PARAMÉTRICAS DE MODELAGEM E FABRICAÇÃO DIGITAL

Dissertação do programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo/UFSC, defendida e aprovada em 12 de dezembro de 2018, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

---

Prof.<sup>a</sup> Dr. Fernando Simon Westphal  
Coordenador do Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Regiane Trevisan Pupo (UFSC)  
Presidente da Banca

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Alice Theresinha Cybis Pereira (UFSC)  
Membro da Banca

---

Prof. Dr. Carlos Verzola Vaz (UFSC)  
Membro da Banca

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Vanessa Goulart Dorneles (UFSM)  
Membro externo

Florianópolis, 2019



## AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora Regiane Trevisan Pupo que, com sua tranquilidade e sabedoria, me guiou ao longo desta pesquisa sempre da melhor forma possível, dividindo seu conhecimento e o espaço de seu laboratório, sempre com muita tranquilidade, compreensão e serenidade.

A minha mãe, Suely Lima de Assis Pinto, que com seu amor e carinho me guiou pelos momentos mais difíceis deste trabalho e que sempre me ajudou incansavelmente até o último momento.

A meu pai, Antônio da Silva Pinto, que calma, companheirismo e cuidado, me auxiliou sempre que pôde com um sorriso no rosto.

Ao meu companheiro, Matheus Westarb, pelo amor e carinho que sempre foi um dos maiores motivos pra que eu continuasse em frente, me mostrando o valor do trabalho digno e o poder do amor ao próximo.

A meus irmãos, Tarik, Calinca e Cadidja, pelo companheirismo e amparo dado, sendo único de membros familiares.

Gostaria de agradecer à CAPES e ao PósArq pelo financiamento e apoio à essa pesquisa.



“Seria maravilhoso se a manipulação genética de cogumelos e árvores habitáveis pudesse sair de controle o quanto antes para que tal praga devorasse toda a arquitetura horrenda de nossas cidades de modo que possamos, finalmente, viver um novo dia de uma nova primavera”. (ESTÉVEZ, Alberto. 2005. p. 58. Tradução nossa.)



## RESUMO

A segunda metade do século XX viu uma evolução tecnológica crucial no desenvolvimento humano. O aperfeiçoamento do computador apresentou uma nova ferramenta de trabalho que passou a ser utilizada cada vez mais em todas as esferas do conhecimento. Este boom tecnológico mudou o paradigma da profissão do arquiteto como jamais visto antes, introduzindo esta máquina no dia-a-dia do profissional. Inicialmente utilizado como uma prancheta digital, o computador passou a ser melhor explorado, fazendo uso de sua capacidade de processamento para a geração de soluções arquitetônicas. O grande impacto causado por essa evolução tecnológica é apresentado com detalhes nesta dissertação, aprofundando o tema da computação na disciplina, com foco na arquitetura paramétrica e nas tecnologias de fabricação digital. Com amparo desta tecnologia generativa, surge uma nova vertente da arquitetura contemporânea que explora as relações encontradas no ambiente natural de modo a aplicar soluções inovadoras na construção civil. Embora essa inspiração nos sistemas biológicos possa ser encontrada desde as primeiras cabanas construídas pelo homem primitivo, foi com o recente desenvolvimento tecnológico que esta vertente passou a ser mais amplamente explorada na arquitetura e no design. É abordado neste trabalho como esta nova arquitetura bio-inspirada se dá através do uso das novas tecnologias digitais e como suas soluções podem ser a resposta para a atual problemática ambiental. A última parte da presente dissertação apresenta a experiência de workshop de trabalho realizado com alunos da arquitetura, onde a modelagem paramétrica atrelada a arquitetura bio-inspirada serve de apoio para a geração de soluções arquitetônicas, servindo como um modelo didático para futuras aplicações nas faculdades brasileiras.

Palavras-chave: arquitetura bio-inspirada; arquitetura paramétrica; modelagem algorítmica; fabricação digital.



## ABSTRACT

The second half of the 20th century saw a crucial technological evolution on human development. The creation of the computer presented a new work tool that started to be used ever so slightly in all areas of expertise. This technological advancement shifted the paradigm of the architectural profession like never, introducing this machine in the day-to-day of the profession. Initially used as a drafting table, the computer started to be better exploited, making use of its computing capabilities for the generation of novel architectural solutions. The big impact caused by this technological advancement is presented with details in this dissertation, exploring the computing theme in the discipline with focus in parametric architecture and digital fabrication. With the help of generative technology, a new theme for contemporary architecture is born that explores the relations found in the natural world in a way so that novel solutions can be applied to construction processes. Although this inspiration in biological systems can be found since the first huts created by the primitive man, it was with recent technological development that this subject started to be more widely explored in architecture and design. It is discussed in this dissertation how this new bio-inspired architecture is born through the use of digital technologies and how its solutions can be an answer to the current environmental problematics. The last part presents the experience of a workshop with architecture students, where parametric modeling combined with bio-inspired architecture is utilized for the creation of novel architectural solutions, providing an educational model for future applications at Brazilian architecture colleges.

Key words: bio-inspired architecture; parametric architecture; algorithmic modelling; digital fabrication.

## LISTA DE SIGLAS

<b>BIM</b>	<i>Building Information Modelling</i>
<b>CAD</b>	<i>Computer-aided Design</i>
<b>CAPES</b>	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
<b>CNC</b>	<i>Computer numerically controlled</i>
<b>PTC</b>	<i>Parametric Technology Corporation</i>
<b>PRONTO 3D</b>	Laboratório de prototipagem e novas tecnologias orientadas ao 3D
<b>MIT</b>	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
<b>LAPAC</b>	Laboratório de automação e prototipagem para arquitetura e construção
<b>SG</b>	Sistema generativo
<b>USP</b>	Universidade de São Paulo
<b>UNICAMP</b>	Universidade Estadual de Campinas
<b>UFRJ</b>	Universidade Federal do Rio de Janeiro
<b>UFPE</b>	Universidade Federal de Pernambuco
<b>UFSC</b>	Universidade Federal de Santa Catarina
<b>NURBS</b>	<i>Non-Uniform Rational B-Splines</i>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Museu Kunsthaus, Graz, Áustria. Crab-studio. 2003.	39
Figura 2	Torres Al Bahar, Abu Dhabi, por Aedas arquitetos, 2012.	39
Figura 3	Manufatura aditiva à base de água. Massachusetts Institute of Technology, MIT. Neri Oxman.	40
Figura 4	Cadeira biodigital de Barcelona feita a partir de estudo em microscópio eletrônico	41
Figura 5	Esquema estrutural e temperatura resultante da incidência solar. Pavilhão de seda (2013).	42
Figura 6	Pavilhão de seda instalado no hall da faculdade de arquitetura.	42
Figura 7	Manuseio do bicho-da-seda em ambiente controlado. Pavilhão de seda.	42
Figura 8	Ossos de mamutes usados na construção de ocas em Mezhirich, Ucrânia. Cerca de 20.000-15.000 A.C.	43
Figura 9	Reconstrução da oca encontrada em Mezhirich, localizada no Museu de Paleontologia de Kiev.	43
Figura 10	Henry Moore, figuras reclinadas. Ideias para esculturas em pedra (1944).	45
Figura 11	Mínima Maxima  Pavilhão permanente de arte pública. Astana, Cazaquistão. 2017. Marc Fornes/THE-VERYMANY.	45
Figura 12	Mínima Maxima  Pavilhão permanente de arte pública. Astana, Cazaquistão. 2017. Marc Fornes/THE-VERYMANY.	45

Figura 13	Mínima Maxima  Pavilhão permanente de arte pública. Astana, Cazaquistão. 2017. Marc Fornes/THE-VERYMANY.	45
Figura 14	Esquema das duas abordagens possíveis na modelagem paramétrica.	54
Figura 15	Igreja Presbiteriana da Coreia, Nova York. 1999. Vista lateral. Greg Lynn Form.	64
Figura 16	Igreja Presbiteriana da Coreia, Nova York. 1999. Vista Frontal. Greg Lynn Form.	65
Figura 17	Painel rupestre montado a partir de pinturas descobertas no sudoeste do estado de Goiás, datado de cerca de 11.000 anos a.P. Destaque para as ilustrações vetorizadas referenciadas no sistema generativo.	72
Figuras 18 e 19	Protótipos desenvolvidos como estudo para a elaboração do exercício do workshop.	72
Figura 20	Apresentação de comandos no software Rhinoceros 6.0 em Datashow.	74
Figuras 21 e 22	Espécie de suculenta analisada por um dos participantes e modelo paramétrico tomando forma (descrição de curvas geratrizes).	75
Figuras 23 e 24	Início do exercício de abstração e parametrização de diferentes morfologias vegetais em software paramétrico realizado nas duas edições	76
Figuras 25 e 26	Modelo paramétrico desenvolvido pelo aluno descrevendo a morfologia vegetal e protótipo 3D executado durante a primeira edição do WKSP, no PRONTO 3D.	77
Figuras 27 e 28	Modelo paramétrico desenvolvido pelo aluno descrevendo a morfologia vegetal e modelo 3D resultante.	77

Figuras 29 e 30	Modelo paramétrico desenvolvido pelo aluno da segunda edição como elemento de parede.	78
Figura 31	Gráfico resultados primeira parte.	79
Figura 32	Gráfico de resultados segunda parte.	80
Figura 33	Gráfico de resultados terceira parte.	81

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Características comuns a sistemas naturais e de engenharia	35
Quadro 2	Diagrama das três eras da arquitetura	36
Quadro 3	Quadro de atividades	90
Quadro 4	Pesquisa bibliográfica de base	91

## CONTEÚDO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>21</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	22
1.2 OBJETIVO GERAL.....	23
<b>1.2.1 Objetivos específicos.....</b>	<b>23</b>
1.3 PERGUNTA DE PESQUISA.....	24
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	24
<b>2 METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA.....	27
2.2 PESQUISA-AÇÃO.....	28
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>31</b>
3.1 AS NOVAS FRONTEIRAS DA ARQUITETURA.....	31
3.1 ARQUITETURA BIO-INSPIRADA.....	32
<b>3.1.1 Funcionalidade e aplicações gerais.....</b>	<b>38</b>
3.2 A ARQUITETURA PARAMÉTRICA E AS FERRAMENTAS DIGITAIS.....	46
<b>3.2.1 A origem do pensamento paramétrico.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.2 A arquitetura paramétrica e seus diferentes conceitos.....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.3 A modelagem paramétrica e sua caracterização.....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.4 Dificuldades da modelagem paramétrica.....</b>	<b>58</b>
3.3 GREG LYNN E A FILOSOFIA DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS.....	62
<b>4 O EXPERIMENTO PRÁTICO DA PARAMETRIZAÇÃO E DA ARQUITETURA BIO-INSPIRADA.....</b>	<b>69</b>
4.1 O WORKSHOP COMO EXERCÍCIO PRÁTICO-TEÓRICO.....	69
4.2 EXPERIMENTO PRÁTICO-TEÓRICO.....	70
4.3 O RESULTADO DO WORKSHOP.....	74
4.4 A PERCEÇÃO DO WORKSHOP COMO FERRAMENTA DE APRENDIZADO: ANÁLISE DE DADOS.....	78
<b>4.4.1 Primeira parte: entendimento acerca do tema de pesquisas, termos, ferramentas e processos.....</b>	<b>78</b>
<b>4.4.2 Segunda parte: entendimento acerca das técnicas de analogia, biomimética, abstração e as ferramentas digitais paramétricas.....</b>	<b>79</b>
<b>4.4.3 Terceira parte: sobre o exercício de analogia e abstração da morfologia vegetal e tradução da forma em modelo paramétrico...80</b>	<b>80</b>
4.5 DISCUSSÃO DO EXERCÍCIO PRÁTICO.....	82
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>83</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>87</b>
<b>7 APÊNDICES.....</b>	<b>90</b>
<b>7.1 APÊNDICE 1: QUADRO DE ATIVIDADES DO WORKSHOP.....</b>	<b>90</b>

7.2 APÊNDICE 2: QUADRO BIBLIOGRÁFICO.....	91
7.3 APÊNDICE 3: QUESTIONÁRIO DO WORKSHOP.....	94
1 PRIMEIRA PARTE: ENTENDIMENTO ACERCA DO TEMA DE PESQUISA, TERMOS, FERRAMENTAS E PROCESSOS.....	94
2 SEGUNDA PARTE: ENTENDIMENTO ACERCA DAS TÉCNICAS DE ANALOGIA, BIOMIMÉTICA, ABSTRAÇÃO E AS FERRAMENTAS DIGITAIS PARAMÉTRICAS.....	95
3 TERCEIRA PARTE: SOBRE O EXERCÍCIO DE ANALOGIA E ABSTRAÇÃO DA MORFOLOGIA VEGETAL E TRADUÇÃO DA FORMA EM MODELO PARAMÉTRICO.....	97

## 1 INTRODUÇÃO

O desempenho da arquitetura brasileira ao longo do século XX, o pioneirismo na criação de uma capital federal modernista, os prêmios Prietzkker laureados a dois grandes nomes nacionais, somado ao nosso baixo desenvolvimento tecnológico culminaram em uma retaguarda arquitetônica ao final do milênio, a um sentimento de acomodação pelos profissionais da área (CELANI 2018). Tecnologias construtivas datadas do início do século passado, como concreto armado e alvenaria estrutural, são ainda bastante utilizados em nossos edifícios. A estagnação teórico-prática em nossa disciplina arquitetônica se deu por um “preconceito contra a arquitetura *blobby*<sup>1</sup>”, existindo apenas tentativas limitadas à adoção de programas em plataforma BIM (*building information modelling*) (CELANI, G. 2018, p.18).

[...] se essa fama foi boa por um lado, por outro criou uma certa acomodação por parte de nossos arquitetos. É muito mais fácil repetir a fórmula que sempre deu certo a pensar em novas possibilidades. Essa atitude foi adotada na prática profissional e no ensino; como resultado, acabamos chegando ao final do século como um país de arquitetura nostálgica e de métodos de ensino tradicionais [...] (CELANI, G. 2018. p.17).

Projetar, tanto na arquitetura quanto no design, não se trata de uma invenção ou criação de algo completamente novo e sim, trata-se do “resultado de um processo de redescoberta” (TERZIDIS, K. 2006. p. viii, Tradução nossa). As recentes tecnologias digitais, entre elas principalmente a invenção do computador, tem o papel de auxiliar o arquiteto em todas as etapas de projeto. Considerar o computador como uma mera extensão da prancheta, isto é, uma ferramenta de desenho digital tradicional, é uma grande limitação de utilização de seu potencial computacional. “Não devemos considerar o computador como uma extensão da mente, mas como um parceiro no processo projetual com fundamentais diferentes aptidões e formas de abordagem” (TERZIDIS, K. 2006. p. viii, Tradução nossa).

---

<sup>1</sup> Arquitetura *blobb* refere-se aos primeiros projetos realizados através da fabricação digital e da modelagem paramétrica que muitas vezes se assemelhavam estruturas orgânicas celulares ou bolhas. No inglês, *blobb* significa gosma, amorfa.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O Brasil é um país rico em diversidade biológica, fauna e flora; muitas delas pouco estudadas ou exploradas pela ciência, ainda menos em se tratando do campo da arquitetura e do design. Há aqui uma oportunidade ímpar de analisar, entender e aplicar conhecimentos providos pelo ambiente natural para que se possa produzir uma arquitetura mais condizente com o bioma em que está inserida, bem como utilizar recursos de uma maneira mais lógica e sustentável.

Segundo Terzidis (2006), existe uma lacuna na educação e formação dos arquitetos bem como a uma grande quantidade e variedade de estudos sobre projeto computacional; fazendo com que arquitetos contemporâneos – não apenas os brasileiros – explorem muito superficialmente as capacidades computacionais das ferramentas digitais hoje disponíveis. Para o autor, a maioria dos escritórios de arquitetura ainda se limitam a desenvolver ideias projetuais através de seus próprios intelectos humanos, isto é, não fazem uso do computador para expandir os limites que a mente humana apresenta.

A nova era tecnológica que a humanidade se encontra, a era digital, globalizada e cibernética, trouxe novos modos de se pensar, produzir, construir, analisar e vivenciar a arquitetura. A disciplina deixou de ser exclusivamente uma atividade manual, baseada em ferramentas simplistas e no intelecto dos projetistas, para uma potência digital-industrial que se utiliza das mais novas tecnologias de simulação, programação e fabricação para auxiliar no processo projetual. Cabe às escolas de arquitetura abordarem essas novas tecnologias digitais em seus ateliês de modo que possam formar profissionais capazes de atuar nesta nova fronteira do ambiente construído.

Nas duas últimas décadas, a arquitetura foi de uma prática projetual amparada por ferramentas manuais para uma profissão focada em ferramentas computacionais, design formal e na prática global. [...] a maioria das práticas arquitetônicas, mesmo não aparentando, ainda estão desenvolvendo ideias através de suas próprias mentes humanas ou por formalismos simplistas baseados em modelagens NURBS<sup>2</sup> (TERZIDIS, K. 2006. p. 40. Tradução nossa).

---

2 NURBS é um modelo matemático comumente utilizado em programas de modelagem 3D computacional para a geração de curvas e superfícies. É uma sigla para *non uniform rational basis splines*.

Esta dissertação de mestrado reconhece a importância inegável da arquitetura computacional, das tecnologias digitais de fabricação, modelagem e prototipagem, bem como as novas teorias dos ramos computacional, da cibernética, matemática, biologia, ciência dos materiais, design e arquitetura; no que tange o ambiente construído. Considerando a importância da pesquisa acadêmica nesta área, justifica-se esta dissertação e seu tema de modo a melhor explorar a questão das tecnologias digitais e da biologia no que diz respeito à arquitetura.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

O **objetivo geral** desta pesquisa é o de contribuir para um maior entendimento das teorias de projeto que aproximam o campo da arquitetura com o da biologia, conhecida por arquitetura bio-inspirada, por intermédio das tecnologias digitais de fabricação e prototipagem, mais precisamente através da aplicação de *softwares* de modelagem paramétrica, isto é, testar a relação da teoria bio-inspirada com a prática digital através da aplicação de workshops temáticos de modo a analisar os resultados e métodos projetuais com os participantes.

### 1.2.1 Objetivos específicos

Os **objetivos específicos** desta dissertação são:

- Analisar os conhecimentos teóricos levantados no campo da parametrização;
- Investigar como a arquitetura Bio-inspirada contribui no processo projetual e aplicar em exercícios práticos orientados;
- Evidenciar o que é a arquitetura Bio-inspirada, quais as vantagens de se estudar e analisar o ambiente natural para a busca de *insights* projetuais;
- Analisar o papel da modelagem paramétrica no atual cenário da arquitetura; suas vantagens, desvantagens e possibilidades de aplicação tanto na prática profissional, quanto no ensino;
- Aplicar workshops de modelagem paramétrica e arquitetura bio-inspirada de modo a compreender a teoria por meio da prática projetual com alunos da graduação;
- Elencar os diferentes termos oriundos da relação biológico-arquitetônica, exemplificando sempre

que possível, de modo a proporcionar maior entendimento do assunto para os colegas projetistas;

### 1.3 PERGUNTA DE PESQUISA

A pergunta de pesquisa norteadora desta dissertação de mestrado foi: **de que maneira as novas tecnologias digitais de modelagem e fabricação auxiliam o projetista durante um projeto de arquitetura bio-inspirada nas diferentes etapas projetuais?**

### 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura desta dissertação foi subdividida entre cinco capítulos. Na introdução, apresenta a temática a ser trabalhada ao longo deste trabalho, os objetivos gerais e específicos da pesquisa bem como sua justificativa ao tema. Está contido também na introdução uma abordagem inicial dos temas da arquitetura bio-inspirada e da arquitetura paramétrica e como ambas dialogam e se interagem no campo da arquitetura.

O segundo capítulo desta pesquisa delimita e explica a metodologia abordada. Em um primeiro momento o foco do trabalho foi a pesquisa bibliográfica sistemática que posteriormente apresentou a adição de autores e temas que fugiam do escopo inicial da busca de palavras chaves, de modo a garantir maior compreensão sobre os temas, sobretudo relacionado às tecnologias digitais, que muitas vezes não eram encontradas na pesquisa inicial que apresentavam a palavra “biologia” ou “biomimética” em suas estruturas. A segunda parte desta metodologia focou no exercício prático-teórico na forma da aplicação do workshop de arquitetura paramétrica e bio-inspirada.

O terceiro capítulo desta dissertação apresenta a teoria trabalhada ao longo da pesquisa, com foco principal sendo a modelagem paramétrica e a arquitetura bio-inspirada. Este capítulo aborda os principais autores de seus respectivos temas, com suas pesquisas publicadas a partir do começo da década de 2000. Um foco especial foi dado ao final deste terceiro capítulo à obra e trabalho de pesquisa do arquiteto americano Gregg Lynn, conhecido por ser um dos pioneiros com trabalhos paramétricos e com materialização através da utilização da fabricação digital, em especial máquinas CNC (*computer numerically controlled*).

A aplicação teórico-prática proposta é abordada no quarto capítulo deste trabalho. Discorre-se sobre os elementos que compuseram as duas edições do workshop de arquitetura paramétrica e bio-inspirada, a composição das turmas participantes, a descrição e explicação dos exer-

cícios propostos bem como a confecção dos protótipos. A prática projetual paramétrica e bio-inspirada experienciada pelos participantes dos workshops é analisada através da aplicação de questionário, desenvolvido de modo a iluminar o entendimento do aluno com a teoria e a prática ensinadas, a compreensão referente ao processo de projeto, aos softwares e às tecnologias de fabricação digitais abordadas. O questionário foi projetado de modo a elencar os pontos fortes e fracos das diferentes etapas do workshop e sugere ao leitor de que maneira essa prática pode ser futuramente aplicada em diferentes situações de prática e ensino.

No último capítulo, a conclusão, faz-se uma retomada de toda a temática abordada ao longo desta dissertação, elucidando as relações entre as tecnologias digitais e a arquitetura bio-inspirada, suas vantagens de aplicação e uma discussão dos caminhos de aplicação dessa temática nas faculdades brasileiras. É abordado também futuros caminhos para essa pesquisa.



## 2 METODOLOGIA

O tema deste trabalho foi levantado e analisado utilizando inicialmente a revisão bibliográfica como principal ferramenta. Através da pesquisa aprofundada sobre o tema, encontrou-se autores chave para o desenvolvimento da pesquisa. A arquitetura sempre foi uma disciplina que se ampara na prática como ferramenta educacional e como tal, este trabalho explora essa relação em sua metodologia empregando a pesquisa-ação como norteadora dos resultados.

Através da revisão bibliográfica sistemática foi feito um levantamento das teorias abordadas atualmente quando se trata de arquitetura bio-inspirada e modelagem paramétrica e, através da implantação dos workshops, pôde-se por em prática a teoria com alunos da graduação. Nota-se que a relação entre prática e teoria proporcionada pelo workshop foi de grande importância para o desenvolvimento da pesquisa pois analisou-se as melhores formas de se abordar o tema bem como o grau de aproveitamento da teoria com os alunos participantes.

O levantamento teórico do tema atrelado à prática educacional daquilo que foi levantado resultou no foco prático da pesquisa (abordado de forma aprofundada no quarto capítulo), com enfoque em alunos do curso de arquitetura. A partir daí a pesquisa seguiu a seguinte metodologia.

### 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

Pesquisa Bibliográfica, segundo Gil (2002), é uma pesquisa com base em trabalhos previamente elaborados, principalmente na forma de livros e artigos científicos. Para o autor, a vantagem deste tipo de pesquisa se dá na gama variada de fenômenos que pode ser analisada pelo pesquisador uma vez que esta pesquisa se baseia em conjunto teórico previamente elaborado sobre o assunto científico em questão.

O presente trabalho utiliza a revisão bibliográfica sistemática e a pesquisa-ação como metodologias de pesquisa. A revisão foi realizada entre os dias 2 e 22 de maio de 2017, na base de periódicos CAPES e posteriormente ampliada através da base CUMINCAD, entre os dias 12 e 25 de março de 2018. As palavras chaves da língua inglesa utilizadas para essa pesquisa foram: *Computational Design; Digital Fabrication; Biomimetic architecture; Parametric architecture; Biology and Architecture*.

No desenrolar do levantamento bibliográfico sistemático a palavra chave “arquitetura bio-inspirada” [*bio-inspired architecture*] foi adicionada à lista da pesquisa devido a sua maior abrangência em se tratando do assunto ‘biologia e arquitetura’. A pesquisa foi elaborada majorita-

riamente na língua inglesa devido a maior disponibilidade de material produzidos sobre os temas tratados nesta dissertação.

Para maior compreensão da revisão bibliográfica sistemática foi esquematizada as referências encontradas em forma de quadro, apresentados ao final desta dissertação (Apêndice I). A tabela sumariza os autores, periódicos, palavras chaves utilizadas na pesquisa e os assuntos abordados nos respectivos artigos, dissertações e teses selecionadas. Nota-se que durante a década de 1990 e começo dos anos 2000 o foco das pesquisas era fabricação digital e técnicas de modelagem paramétricas. Em meados da metade da década de 2000, segundo Estévez (2005), programas de pós-Graduação em arquitetura e design como a da ESARQ (*Escola Tècnica Superior d'Arquitectura*) em Barcelona, mudaram o foco para “arquitetura biodigital ou arquitetura genética”.

Posteriormente, no primeiro semestre de 2018, o laboratório LAPAC (laboratório de automação e prototipagem para arquitetura e construção) da UNICAMP, publicou um compilado das pesquisas de mestrado e doutorado realizadas entre os anos de 2011 e 2016. As palavras chaves correspondentes ao mesmo são: Computação Gráfica; Programas; Processamento de Dados; Computação aplicada (Arquitetura); Obra de referência.

A pesquisa bibliográfica sistemática foi crucial para o entendimento da teoria da arquitetura bio-inspirada e das tecnologias digitais. Através da análise de diferentes autores, pode-se compreender a evolução da computação na arquitetura e de que maneira ela vem sendo abordada tanto na prática quanto no ensino da disciplina. Esse levantamento também foi capaz de elucidar como o tema da arquitetura bio-inspirada tem sido estudado e tratado na academia, sempre relacionando-se com métodos de fabricação digitais.

## 2.2 PESQUISA-AÇÃO

A prática da pesquisa-ação foi outra importante metodologia aplicada nesta pesquisa. Através da realização de workshops de modelagem paramétrica (três no total) entre o período de 2016 e 2018 e um workshop com duas edições abordando o tema da arquitetura bio-inspirada e modelagem paramétrica (realizados em junho e setembro de 2018), pôde-se analisar como os alunos se adaptam e compreendem os modelos de projeto propostos e de que maneira abordá-los em aula de modo a permitir um maior índice de compreensão por parte dos alunos. É importante ressaltar que os primeiros workshops realizados antes do período de junho de 2018 apresentavam maior foco na ferramenta paramétrica e representaram o início da pesquisa-ação apresentada neste trabalho. Devido ao foco exclusivo na ferramenta paramétrica, os workshops posteriores foram me-

lhores adaptados para a unificar tanta ferramenta paramétrica ao processo bio-inspirado, temas chave desta dissertação.

Segundo Miranda e Resende (2006) a pesquisa-ação permite a discussão entre a relação da teoria e da prática no ensino e constitui-se em uma pesquisa “que se define por incorporar a ação como sua dimensão construtiva”, ou seja, o pesquisador reconhece a importância e relevância da ação para a educação do tema abordado.

[...] a pesquisa-ação, mais do que uma abordagem metodológica, é um posicionamento diante de questões epistemológicas fundamentais, como a relação entre sujeito e objeto, teoria e prática, reforma e transformação social. (MIRANDA e RESENDE, 2006).

Este trabalho estuda e analisa a arquitetura bio-inspirada e a modelagem paramétrica e as reconhece como importantes processos de projeto, se utilizando da prática educacional, através da aplicação dos workshops, como principal viés educacional destas ferramentas e conceitos. As primeiras práticas educacionais foram aplicadas internamente aos pesquisadores do laboratório PRONTO 3D, desta universidade, e posteriormente viu esta prática expandida para a comunidade acadêmica, através da participação de duas turmas compostas por alunos e egressos do curso de arquitetura.

Como a arquitetura paramétrica e bio-inspirada tratam-se de processos de projeto, a importância de se abordar esses temas através da prática educacional em sala de aula e da elaboração de exercícios de modelagem bem como da fabricação de protótipos se fizeram imprescindíveis. Através dos workshops pode-se averiguar a relação dos alunos com as ferramentas digitais propostas, suas dificuldades, vantagens de abordagem no processo projetual bem como na exploração de resultados arquitetônicos que vão além daqueles que estão acostumados a alcançar, seja em sala de aula ou em suas práticas profissionais.

Por se tratar de processos projetuais complexos, a elaboração dos modelos paramétricos através do amparo do instrutor mostrou-se de grande valor, podendo auxiliar a compreensão dos alunos no processo de aprendizagem e na desmistificação da arquitetura paramétrica e bio-inspirada como sendo muito complexas. A experiência dos workshops foi de crucial importância para o ensino dessas práticas bem como para uma maior compreensão das melhores formas de abordagem, através da elaboração de exercícios que foram desde a geração de algoritmos iniciais simples até a elaboração de programações complexas que faziam uso da analogia e de outras características da biomimética para a elaboração de soluções arquitetônicas inovadoras.

O workshop foi dividido em duas turmas – junho e setembro de 2018 – com dois dias de atividades cada e foi realizado no laboratório PRONTO 3D, com amparo de computadores e data show, no primeiro dia, e de uma impressora 3D para os protótipos, no segundo. O primeiro dia concentrou-se a apresentação didática teórica via data show e introdução das ferramentas digitais através da elaboração de exercícios exemplo juntamente com o instrutor. Esse primeiro encontro com o *software* se mostrou crucial para a elaboração seguinte do workshop, onde cada aluno elaborou uma programação própria no *Grasshopper*. Os comandos e ferramentas mais importantes foram apresentados de forma prática, com compartilhamento de tela, de modo que os alunos acompanhassem o desenvolvimento do exercício e pudessem reproduzir de forma individual.

Alguns dos alunos participantes do workshop possuíam pouco conhecimento de modelagem 3d, o que dificultou o entendimento de alguns comandos apresentadas. Essa dificuldade foi sanada graças à ajuda de instrutores, membros do laboratório, que auxiliaram no desenvolvimento e na compreensão da programação desses alunos. Vale ser dito que para o bom aproveitamento das atividades em laboratório, a participação dos instrutores auxiliares foi de grande ajuda. Notou-se também que uma turma reduzida (cerca de sete participantes por edição) foi crucial para uma boa evolução do trabalho. Um número maior seria de difícil controle o que resultaria em menor tempo de ajuda individual no desenvolvimento de cada projeto.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 AS NOVAS FRONTEIRAS DA ARQUITETURA

A arquitetura brasileira vivenciou um grande reconhecimento internacional durante o século XX graças aos expoentes modernistas que aqui construíram. Cidades como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e depois Brasília, foram concretizando referências do movimento, uma após a outra. Se por um lado essa fama trouxe reconhecimento aos arquitetos brasileiros, por outro, segundo Celani (2018), “criou uma certa acomodação”. Uma atitude de conformismo em termos técnicos e construtivos tomou conta dos ateliês e salas de aula do país, fazendo com que, atrelado a um crescimento tecnológico lento ao final do século XX, a arquitetura aqui produzida ainda fosse fortemente influenciada por pensamentos do início do mesmo século.

Enquanto isso, no hemisfério norte, principalmente, a discussão pós-moderna na arquitetura trazia à tona teorias discutidas nos campos da cibernética e ciência da computação. Buscava-se novamente a inovação.

[...] Inovação é uma fascinação primordial da mente humana, embora sua percepção seja altamente ilusória, condicionada e influenciada. [...] Inovação requer mais do que apenas aparência. [...] inovação é normalmente sobre o extraordinário, diferente ou o excepcional, porém pode ser também sobre o primeiro, crucial ou original (TERZIDIS, K. 2006, p. 4, Tradução nossa).

Essa busca pela inovação se deu em diferentes campos científicos após o advento do computador. “[...] Teorias, experimentos ou tecnologias que apontam os limites potenciais da mente humana buscam identificar inovação como sendo uma qualidade que existe além da mente humana” (TERZIDIS, K. 2006, p. 7, Tradução nossa).

Uma dessas novas teorias abordadas no campo da arquitetura foi a teoria da complexidade. Segundo Sedrez (2018), ela é oriunda das ciências naturais, destinando-se aos estudos dos fenômenos complexos, lidando com “sistemas complexos, emergência, dinâmica não-linear, teoria do caos e auto-organização” (SEDREZ, M. 2018, p. 22). Sua aplicabilidade no campo do projeto se deu principalmente por possuir ferramentas capazes de abordar problemáticas que apresentam grande número de variáveis, como é a atividade de projeto em si.

Outro importante conceito para a compreensão do estudo da complexidade em arquitetura é o de Sistemas Generativos (SGs). Para Sedrez

e Martino (2018), “um sistema generativo é uma definição ou método de obtenção de uma solução para um dado problema com parâmetros em aberto” (SEDREZ, M; MARTINO, J.A. 2018, p. 25). Por exemplo, um sistema generativo pode auxiliar o arquiteto ao lançar um estudo de ocupação de um problema projetual. Ao elaborar um algoritmo contendo parâmetros legais, condicionantes físicas do terreno, questões sociais, ambientais; o arquiteto monta um esquema que responde àquelas demandas estipuladas.

[...] permite a geração de múltiplas alternativas, a partir da entrada de valores para esses parâmetros. Os SGs podem ser formados, por exemplo, por conjunto de regras que podem ser aplicadas em diferentes ordens e combinações ou por modelos geométricos paramétricos (SEDREZ, M; MARTINO, J.A. 2018, p. 25).

O fato de o SG ser gerado a partir da compilação e manipulação de uma gama variada de parâmetros faz com que ele seja capaz de gerar múltiplas soluções, uma vez que, para cada alteração numérica feita em seus dados, também conhecidos na ciência da computação por *inputs*, uma nova solução possível emerge. Esta característica foi descrita como a primeira característica dos SGs, segundo Sedrez e Martino (2018). A segunda característica diz respeito ao potencial criativo deste método uma vez que a possibilidade de inovação cresce em meio à análise de variadas possíveis soluções. A terceira característica descreve a capacidade de se alcançar projetos com maior qualidade. Para tanto, a geração de um algoritmo bem detalhado e que abarca o máximo de variáveis condicionantes possíveis seria a chave para a obtenção dos melhores projetos (SEDREZ, M; MARTINO, J.A. 2018, p. 26).

### 3.1 ARQUITETURA BIO-INSPIRADA

“Nós sabemos que a resposta está na natureza e que a natureza é a resposta” (ESTÉVEZ, T. 2006. p. 451). No ambiente natural, espécies se alimentam, reproduzem, lutam, perpetuam, morrem. Um ciclo contínuo de troca material onde uma vida dá lugar à próxima. Segundo Wilson (2008), a seleção natural das espécies é o principal processo de projeto da natureza. É através dela que são testadas eficiência energética, estrutural e material; onde os mais bem adaptados ao meio sobrevivem e perpetuam seu código genético.

Através da evolução, a natureza experimentou com os princípios da física, química, engenharia mecâ-

nica, ciência dos materiais, mobilidade, controle, sensores, etc. Através dela, a natureza criou soluções eficientes para muitos problemas encontrados tanto nos sistemas naturais quanto nos sistemas desenvolvidos pela engenharia (WILSON, 2008, p. 2, Tradução nossa).

A arquitetura Bio-inspirada, isto é, aquela que se baseia nos processos naturais para sua elaboração, seja através da cópia de estruturas ou mecanismos biológicos (Biônica), do mimetismo de características desejáveis (Biomimética) ou através da utilização de técnicas de manipulação do código genético; é considerada a nova fronteira do conhecimento humano.

Estamos explorando [...] através de experimentos interdisciplinares envolvendo campos como a ciência dos materiais, biologia, genética, arte, arquitetura, engenharia civil, design, gráfica computacional e interação humana-computacional. Estamos explorando fronteiras pós-humanas (ESTÉVEZ, T. 2016, p. 451, Tradução nossa).

Segundo Dollens (2009, p. 415), conhecimentos biomiméticos extraídos da “morfologia de plantas e animais, algoritmos e bioquímica”, amparados por tecnologias digitais de fabricação e modelagem, estão lançando os campos da arquitetura, engenharia e do design para “o mundo vivo e orgânico”. Para o autor existe a possibilidade da criação de arquiteturas fundidas com sistemas vivos, “hospedando bactérias biorremediadoras [*bioremediating*], algas, líquens ou plantas”; interconectadas por programas que monitoram suas atividades, sensores biodigitais e inteligência artificial.

“Podemos ver o enorme potencial que a natureza nos oferece de modo a assegurar um futuro melhor ao nosso planeta” (ESTÉVEZ, 2016, p.453, Tradução nossa). Esse potencial referido pelos pesquisadores aqui citados diz respeito, primariamente, às soluções sustentáveis capazes de remediar o impacto causado pela sociedade no planeta Terra. Edifícios com placas fotovoltaicas e água da chuva reutilizada não mais serão capazes de solucionar o caos ambiental gerado pela ação humana. Soluções mais drásticas, como uma cooperação entre as espécies, se fazem necessárias. Captura de carbono atmosférico, produção de calor através de processos bioquímicos intracelulares, bioluminescência; são algumas das formas sendo estudadas nesta nova fase “biodigital” que a sociedade se encontra.

A cidade do futuro será composta por 50% de tecnologia biológica e 50% de tecnologia digital

(100% biodigital). Casas vivas que crescem sozinhas, árvores que fornecem luz a noite, plantas que propiciam calor no inverno; uma cidade que é mais uma floresta do que uma paisagem de contêineres em um porto (ESTÉVEZ, T. 2016, p. 451, Tradução nossa).

Essa cidade do futuro descrita por Estévez como sendo 100% biodigital só se tornará possível graças à aplicação das tecnologias digitais de modelagem e fabricação para o desenvolvimento dessa arquitetura. Novas técnicas produtivas, novos materiais construtivos, novas tipologias e arranjos; o amplo estudo e aplicação das práticas digitais e sua justaposição com os conceitos da biologia serão responsáveis por essas mudanças drásticas no ambiente construído que tanto se faz necessária no novo século. Cidades e edificações mais condizentes com o ambiente no qual estão inseridas, materiais mais sustentáveis, menores impactos ambientais e pegada de carbono, são algumas das características que serão amplamente empregadas no futuro de nossas cidades.

A constante busca por inovação, resultado da inquietude da mente humana, e por soluções aos problemas ecológico-construtivos atualmente em voga, reacenderam um desejo de procurar na natureza por respostas condizentes à atual conjuntura global. Wilson (2008) afirma que a “evolução é o processo de projeto da natureza, alcançado pela seleção natural” e que este processo é comandado pela sobrevivência daqueles mais adaptados ao meio, onde “eficiência energética é a chave”. Este processo de seleção e experimentação através de mutações genéticas e reprodução sexuada – aquela em que há troca de material genético – fez com que a “natureza criasse soluções efetivas para muitos problemas enfrentados por ambos os sistemas naturais e na engenharia (*engineering systems* é o termo utilizado pelo autor) (WILSON, J. 2008, p. 2, Tradução nossa).

As características comuns a ambos os sistemas são sintetizadas no Quadro 1. Características como a quantidade de elementos que compõem os sistemas, qualidades mecânicas dos materiais, tipos de componentes, adaptabilidade, funcionalidade e a hierarquização dos sistemas; são comparadas por Wilson (2008).

Quadro 1 – Características comuns a sistemas naturais e de engenharia

<b>Sistemas naturais</b> são tipicamente:	<b>Sistemas na engenharia</b> são tipicamente:
Feitos a partir de <b>menos elementos</b> com propriedades que <b>variam</b> internamente;	Feitos a partir de componentes <b>homogêneos</b> individuais;
Preocupam-se com <b>força</b> , tornando seus materiais <b>mais fortes</b> ;	Preocupam-se com a <b>rigidez</b> dos materiais, tornando-os mais <b>quebradiços</b> ;
Construídos por <b>compostos fibrosos</b> ;	Construídos com <b>metais e ligas metálicas</b> ;
<b>Adaptativos</b> , isto é, adaptam de acordo com informações recebidas tais quais carga e variações ambientais ao longo do tempo;	<b>Não adaptáveis e superdimensionadas</b> ;
<b>Multifuncionais</b> , dedicando múltiplas funções a um único componente;	Mapeamento funcional <b>um-a-um, monofuncionais</b> ;
Arranjados <b>hierarquicamente</b> , apresentando diferentes escalas de tamanho e níveis de organização.	<b>Não-hierárquicos</b> , projetados em apenas uma escala.

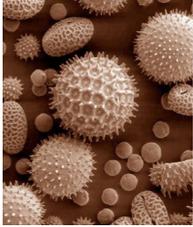
Fonte: (WILSON, J. 2008, p. 3. Tradução nossa).

A crescente utilização das tecnologias digitais no campo da arquitetura, design e engenharia, propiciou uma revolução na maneira de projetar. O computador deixou de ser uma mera ferramenta de desenho, uma prancheta digital, e passou a ser uma ferramenta auxiliadora do arquiteto. Os processos digitais hoje disponíveis estão presentes da concepção à fabricação digital. Estévez (2005) afirma que dada essa grande adesão à arquitetura computadorizada ou digital, isto é, “uma arquitetura projetada com o apoio de novos recursos gráficos computadorizados”, entende-se que o “organicismo digital é a arquitetura *avant-garde* do começo do século XXI”. (ESTÉVEZ, 2005, p.55. Tradução nossa).

O mérito deles [arquitetos pesquisadores] culminou na validação de seus atributos de tal forma que, graças à fácil previsão de um futuro genético, pode-se dizer que, no começo do terceiro milênio, a nova arquitetura é toda sobre genética (ESTÉVEZ, A.T. 2005, p. 56, Tradução nossa).

O Quadro 2, adaptado a partir do trabalho de Estévez (2005, p.55 e 2009, p.16), aponta como a arquitetura evoluiu nos últimos séculos em termos de seus sistemas formais, estruturais e materiais, além dos métodos produtivos; e antevê como ela se dará no novo milênio.

Quadro 2 – Diagrama das três eras da arquitetura.

		
Passado Clássico (século XIX)	Presente Modernista (século XX)	Futuro Genético (século XXI)
O sistema formal empregado é a <b>verticalização</b>	O sistema formal empregado é a <b>horizontalização</b>	O sistema formal empregado é o <b>organicismo</b>
Sistema estrutural composto por <b>estruturas comprimidas</b>	Sistema estrutural composto por <b>estruturas tracionadas</b>	Sistema estrutural composto por <b>estruturas vivas</b>
O sistema material empregado é a <b>pedra, alvenaria e madeira</b>	O sistema material empregado é o <b>concreto armado, aço e plástico</b>	O sistema material empregado é o <b>vegetal, a carne e o osso</b>

<p>Sistema de produção é a <b>manufatura de cada parte distinta ou semelhante, uma por vez</b></p>	<p>Sistema de produção é a <b>produção automatizada em massa de partes idênticas</b></p>	<p>Sistema de produção é a <b>produção mecanizada automatizada de diferentes partes e crescimento natural.</b></p>
--	--	--

Fonte: (ESTÉVEZ, A.T. 2005, p.55, 2009, p.16. Adaptação e tradução nossa). Fonte das imagens, respectivamente: Parthenon, Atenas. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Parthenon>>. Casa da Cascata, Frank Lloyd Wright. <<http://www.wright-houset.com/frank-lloyd-wright/fallingwater.html>>. Pólen observado em microscópio eletrônico. <<http://biologo.com.br/bio/palinologia/>>. Acessado em: 08 fev. 2018.

Para Estévez (2005), essa abordagem da arquitetura digital é recebida com grande ceticismo por parte da academia vigente. Seja por discordância teórica, filosófica ou mesmo prática, há uma enorme distância entre a formação modernista de nosso corpo docente e a formação tecnológica e digital dos novos profissionais.

[...] em muitas escolas o atraso vai durar ao menos até que a mudança de geração em sua direção os permitam ver as coisas diferentemente: deve ser deixado claro que este novo design cibernético-digital que vem se alastrando recentemente está tomando o uso do computador como um mero substituto do desenho manual, dado que é desenvolvido pelos mesmos recursos internos do computador, como uma ferramenta não só gráfica mas também criativa, projetual e de produção (ESTÉVEZ, A.T. 2005, p. 56, Tradução nossa).

Segundo Wilson (2008), a busca por inovação por parte de empresas atuantes no âmbito internacional no campo das engenharias se dá como um elemento diferenciador de mercado. Elementos diferenciadores como custo e qualidade estão perdendo força no mundo globalizado e dando lugar às inovações tecnológicas. Sendo a “inovação o diferenciador do futuro, engenheiros e designers estão sendo forçados a novos padrões e processos de pensamento de modo a criarem soluções inovadoras e originais” (WILSON, J. 2008, p. 1, Tradução nossa).

Seja por um apressamento maior à inovação ou por adequação às novas ferramentas, o trabalho do arquiteto está intimamente ligado às ferramentas digitais. Tanto na concepção, no desenvolvimento ou mesmo na fabri-

cação, o projeto arquitetônico está intimamente ligado à tecnologia e sua relação – tanto atual quanto futuramente – deve ser abordada na academia e na prática profissional. A previsão de Estévez por uma arquitetura orgânica, feita de estruturas vivas (carne e osso) e construída através da construção automatizada de partes diferentes e crescimento natural pode significar uma transformação muito radical de onde ela se encontra no momento, porém, essa mudança poderá representar uma transformação crucial na forma como os projetos do futuro são elaborados e construídos. Para esse futuro orgânico e digital tem-se muito o que adaptar.

### 3.1.1 Funcionalidade e aplicações gerais

Essa busca por soluções inovadoras acontece desde a primeira fase projetual, também conhecida por fase conceitual. Durante essa etapa, o projetista se depara com a problemática a ser trabalhada e busca soluções que se adequem melhor às restrições de projeto. Nesta fase de projeto uma teoria pode ser explorada. Racionalidade limitada (*bounded rationality*) é uma teoria que, segundo Wilson (2008), diz respeito às limitações individuais do projetista. Ao procurar por uma solução, o indivíduo está limitado às suas habilidades, hábitos e reflexos, por valores e conceitos e pela extensão de seus conhecimentos. Logo, o espaço que pode ser pesquisado está limitado às habilidades cognitivas do projetista (WILSON, J. 2008, p. 1, Tradução nossa).

Processos criativos são empregados de modo a superar essas limitações cognitivas que todo projetista possui. Mapas conceituais, nuvens de palavras, maquetes conceituais; são alguns exemplos de processos criativos empregados por arquitetos. Outra forma muito utilizada para se alcançar soluções de projeto é o emprego de analogias.

Analogia no design é usado para servir como um solucionador de problemas, onde designers utilizam soluções de outras disciplinas para resolver os problemas no seu campo de conhecimento. [...]. Nesta pesquisa, exploramos a natureza como uma possível fonte de analogias, onde estratégias do domínio biológico são usados para solucionar problemas [...]. (WILSON, J. 2008, p. 1-2, Tradução nossa).

Assim como Wilson (2008), este capítulo irá explorar a biologia e suas ramificações como fonte de analogias aplicáveis à problemáticas encontradas no campo da arquitetura.

Segundo *Priberam* (2018), dicionário da língua portuguesa, biomimético é um adjetivo que se refere aquilo que “imita alguma coisa da

natureza ou algum processo natural”. A biomimética seria a “área interdisciplinar que pretende utilizar na ciência os conhecimentos da estrutura biológica dos seres vivos”.

Para Estévez (2005), existem alguns outros termos derivados desta relação biológico-arquitetônica que são relevantes para esta pesquisa. São eles: arquitetura biomórfica; arquitetura biônica; arquitetura orgânica; organicismo digital; arquitetura genética e arquitetura biológica.

**Arquitetura biomórfica** é aquela que apresenta sua forma semelhante às formas de seres vivos. Esta analogia pode ser feita com ou sem intenção por parte do arquiteto ou designer, bem como pode ser interpretada apenas pelo usuário ou, ainda, criada com base em inspiração da natureza, seja ela fiel ou abstrata, de memória ou cópia (ESTÉVEZ, A.T. 2005, p.77. Tradução nossa). Um exemplo desta aplicação é o museu Kunsthhaus, em Graz, Áustria, projetado por sir Peter Cook e Colin Fournier, concluído em 2003 (Figura 1), que viu na inspiração biomórfica uma forma de destoar o projeto do entorno clássico da cidade, se assemelhando à uma gosma que pousa na cidade tradicional.

Figura 1: Museu Kunsthhaus, Graz, Áustria. Crab-studio. 2003.



Fonte: <http://www.crab-studio.com/kunsthhaus-graz.html> > acessado em 08/02/2018.

**Arquitetura biônica** é aquela cujos funcionamento, sistemas ou processos são similares àqueles de seres vivos, tomando-os como modelos (ESTÉVEZ, A.T. 2005, p.77. Tradução nossa). Está ligada normalmente a partes que se movem, elementos que seguem regras naturais de funcionamento (Figura 2).

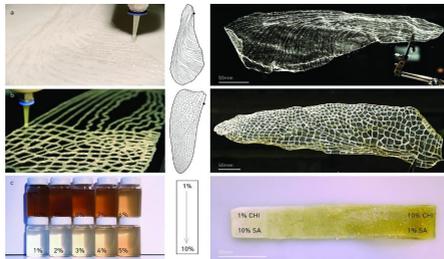
Figura 2: Torres Al Bahar, Abu Dhabi, por Aedas arquitetos, 2012.



Fonte: [https://www.reddit.com/r/architecture/comments/5mflra/sunshades\\_on\\_the\\_al\\_bahr\\_towers\\_abu\\_dhabi](https://www.reddit.com/r/architecture/comments/5mflra/sunshades_on_the_al_bahr_towers_abu_dhabi) > acessado em 02/12/2018

Arquitetura orgânica é aquela que, em “unidade e continuidade, mescla elementos que realizam diferentes funções, como são percebidos em elementos vivos” (ESTÉVEZ, A.T. 2005, p.77. Tradução nossa). A particularidade da arquitetura orgânica é que ela não apresenta diferenciação dos elementos estruturadores e organizadores do projeto, ou seja, é entendida como único elemento contínuo, orgânico. A arquiteta pesquisadora do laboratório de mídias do MIT, Neri Oxman, desenvolveu juntamente com os alunos um sistema de manufatura aditiva à base de água e composto orgânico (Figura 3) – utilizando um braço robótico e biologia sintética – capaz de imprimir elementos inteiros nas diferentes escalas e com baixa densidade do material, sem distinção de partes, variando apenas a porcentagem de água utilizada. A pesquisa intitulada “Plataforma de fabricação digital a base de água” (2014-2015), resultou em um composto que varia do opaco – resistente a compressão – ao semitransparente – resistente a tração e permitindo a passagem da luz.

Figura 3: Manufatura aditiva à base de água. *Massachusetts Institute of Technology*, MIT. Neri Oxman

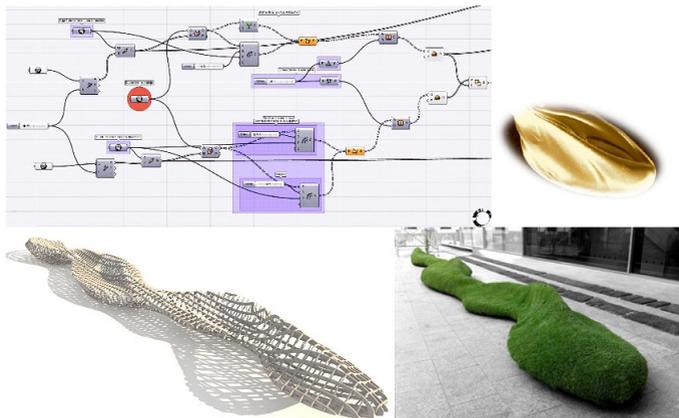


Fonte: <<https://www.media.mit.edu/projects/water-based-additive-manufacturing/overview/>> acessado em 08 mar. 2018.

**Organicismo digital** “é a parte da arquitetura e design digital que usa recursos cibernéticos-digitais de ponta em seu projeto e/ou produção.” (ESTÉVEZ, A.T. 2005, p. 77, Tradução nossa).

**Arquitetura genética** envolve a aplicação dos conhecimentos da genética no processo arquitetônico. Pode ocorrer de duas formas. Aplicada de maneira direta, envolve a colaboração de geneticistas e arquitetos em sua fabricação. A segunda aplicação é metafórica e artificial, sendo uma arquitetura genética por extensão ou similaridade com definições e processos genéticos (ESTÉVEZ, A.T. 2005, p. 77, Tradução nossa). Métodos generativos, DNA digital e *softwares* de programação visual são algumas aplicações metafóricas da genética na arquitetura (Figura 4).

Figura 4: Cadeira biodigital de Barcelona feita a partir de estudo em microscópio eletrônico. Acima modelo generativo, abaixo à esquerda estrutura em modelo digital e à direita modelo em escala real coberto em grama.

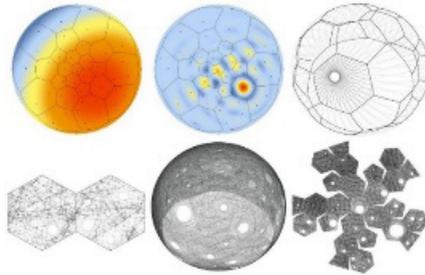


Fonte: Alberto T. Estévez – Alejandro Muiño – Diego Navarro, Biodigital Barcelona Chair, Barcelona, 2010. <https://estevéz.wordpress.com/2014/01/03/digital-architecture/> acesso em 02/12/2018.

**Arquitetura biológica** é aquela que incorpora “elementos naturais vivos” à sua composição. Segundo Estévez (2005) os elementos vegetais são usualmente os mais empregados neste tipo de arquitetura. Uma segunda vertente estuda a manipulação comportamental de algumas espécies animais, aproveitando e em alguns casos potencializando, suas “capacidades construtivas natas, guiando-os de acordo com o design desejado construindo-o de forma autônoma”. (ESTÉVEZ, A.T. 2005, p. 77, Tradução nossa).

Um exemplo bastante significativo desta vertente da arquitetura biológica é o “pavilhão de seda” (Figuras 5,6 e 7), novamente desenvolvidos pelo grupo *Mediated Matter*, do MIT (2013). O pavilhão foi um resultado conjunto do intelecto humano, por meio de fresadora CNC em braço robótico e seda sintética, e as capacidades de fabricação naturais do bicho-da-seda. Segundo o grupo desenvolvedor, as larvas preferiam locais adensados e menos quentes, logo, através da criação de aberturas no pavilhão utilizando seda sintética e um braço robótico, bem como posicionamento calculado do mesmo de acordo com a trajetória solar, puderam de certa forma mediar, direcionar o animal afim de seguirem uma fabricação da seda pré-estabelecida.

Figura 5: Esquema estrutural e temperatura resultante da incidência solar. Pavilhão de seda (2013).



Fonte: *Massachusetts Institute of Technology. School of Architecture + Planning. Mediated Matter.* <<https://www.media.mit.edu/projects/silk-pavilion/overview/>> acessado em 08 mar. 2018.

Figura 6: Pavilhão de seda instalado no hall da faculdade de arquitetura.



Fonte: *Massachusetts Institute of Technology. School of Architecture + Planning. Mediated Matter.* <<https://www.media.mit.edu/projects/silk-pavilion/overview/>> acessado em 08 mar. 2018.

Figura 7: Manuseio do bicho-da-seda em ambiente controlado. Pavilhão de seda.

Fonte: *Massachusetts Institute of Technology. School of Architecture + Planning.*



*Mediated Matter.* <<https://www.media.mit.edu/projects/silk-pavilion/overview/>> acesso em 08 mar. 2018.

A exploração e pesquisa científica de sistemas biológicos e suas possíveis aplicações, diretas ou indiretas, não é algo novo, por mais que possa parecer. A utilização de ferramentas digitais trouxe uma nova gama de possíveis aplicações no campo da biomimética, porém, segundo Dolens (2009, p.105) “biologia – natureza – não é uma nova influência para evolução arquitetônica e o desenvolvimento da forma”. Ele afirma que técnicas antigas como as tramas, trançados, nós ou amarrações e até a cerâmica são formas de apropriação da natureza que tornaram possíveis a agricultura e a construção (HERRMANN, 1984, *Apud* DOLLENS, 2009, p. 105, Tradução nossa).

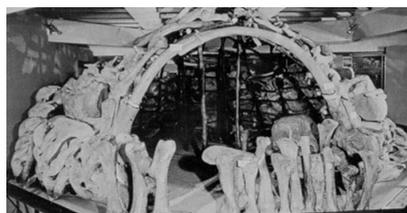
Estévez (2005) também afirma que o biometismo está presente há milênios, destacando a importância da descoberta de cabanas feitas com ossos de mamutes na região de Mezhirich, na Ucrânia (Figuras 8 e 9). Segundo Estévez (2005), essas arquiteturas datam do paleolítico, considerado como o período em que se originou a produção artística humana. O autor destaca ainda o considerável esforço construtivo empregado nessas obras, criando uma certa “ordem estética”, indo além do emprego de um padrão meramente funcional (ESTÉVEZ, A.T. 2005, p. 59, Tradução nossa).

Figura 8: Ossos de mamutes usados na construção de ocas em Mezhirich, Ucrânia. Cerca de 20.000-15.000 A.C.



Fonte:< <http://donsmaps.com/mammothcamp.html>> acessado em 08 mar. 2018.

Figura 9: Reconstrução da oca encontrada em Mezhirich, localizada no Museu de Paleontologia de Kiev.



Fonte:< <http://donsmaps.com/mammothcamp.html>> acesso em 08 mar.2018.

[...] a história da arquitetura está mais ligada a arquitetura biomórfica do que qualquer outra coisa [...]. [...] até em sua origem mais primitiva, arquitetura já era precisamente biomórfica, em relação a formas semelhantes ou formas com certa relação com qualquer ser vivo, seja vegetal ou animal (ESTÉVEZ, A.T. 2005, p. 58, Tradução nossa).

As primeiras cabanas, ou ninhos, desenvolvidos pelos humanos tinham a função primária de manter a temperatura. Para Estévez (2005), essas cabanas eram biomórficas pois eram construídas utilizando galhos e folhas em volta dos corpos que seriam protegidos.

Vale aqui citar alguns exemplos mais próximos da atualidade de aplicação do biomimetismo na arquitetura – analogia estrutural biológica, no caso –, levantado por Costa (2009). O autor destaca as “estruturas leves tais como estruturas tensionadas, infláveis, cascas resistentes e até domos geodésicos” como exemplos dessa analogia. Outro ponto importante desse tipo de aplicação estrutural na arquitetura é o foco na máxima eficiência e otimização de recursos, criando “estruturas morfológicamente versáteis e com capacidade de serem recicladas e integradas a ciclos biológicos com um baixo impacto global” (COSTA, 2009, p. 85, Tradução nossa).

Perez (2009) defende que há uma clara distinção entre geometrias complexas naturais e as feitas pelo homem. **Formas orgânicas** apresentam uma unidade, isto é, “uma força mínima que governa a geração da forma no mundo natural e serve como modelo para a arte e arquitetura” (PEREZ, S.R. 2009, p.164. Tradução nossa). O escultor e ilustrador britânico Henry Moore (1898-1986) aperfeiçoou essa materialidade orgânica através de suas obras; características antropomórficas, superfícies fluídas e ausência de “partes” distintas são encontradas em seu trabalho (Figura 10). No outro lado do espectro, continua Perez (2009), está o **Sintético**, caracterizado pela presença de elementos conectores, isto é, elementos estruturais que unem as partes do todo. Cabe aqui exemplificar o conceito de sintético com o trabalho do grupo THEVERYMANY, por Marc Fornes (Figuras 11,12 e 13).

Figura 10: Henry Moore, figuras reclinadas. Ideias para esculturas em pedra (1944).



Fonte: <<https://www.flickr.com/photos/centralasian/6738660079/in/photostream/>> acesso em 22 mar. 2018

O sintético, por comparação, engloba a multiplicidade dos compostos geométricos e os materiais como base para as soluções adaptativas da natureza capazes de dificultar as forças estruturais e ambientais afetando o organismo (PEREZ, S.R. 2009, p.165. Tradução nossa).

Figuras 11,12 e 13: *[Minima|Maxima]* Pavilhão permanente de arte pública. Astana, Cazaquistão. 2017. Marc Fornes / THEVERYMANY. À esquerda, pavilhão concluído, à direita processo de montagem com detalhe (abaixo) dos conectores da estrutura sintética.



Fonte: <<https://theverymany.com/world-expo-17-astana-kz-1>> acesso em 22 mar. 2018.

Nós vemos nestes trabalhos a tendência predominante dos artistas que incorporam a forma orgânica em seus projetos a ‘tradição orgânica pitoresca’, que permeou a arte orgânica, arquitetura e biomor-

fismo no séc. XX. Esta tendência rumo ao pitoresco orgânico é bastante ativo atualmente nas formas biomórficas e topológicas possíveis por meio de softwares NURBS e a prototipagem rápida (PEREZ, S.R. 2009, p.165. Tradução nossa).

Os sistemas naturais, por outro lado, apresentam “gradientes sutis e misturas compostas de matéria orgânica (proteínas) e inorgânicas (minerais) sem a dependência de conexões abruptas ou elementos conectores”. Essa ausência de elementos conectores garante uma tenacidade estrutural única aos sistemas naturais, evitando os pontos fracos que causam estresse estrutural e estão sujeitos à falha estrutural (PERES, 2009, p.167. Tradução nossa).

Essas características de estrutura e morfologia encontradas nos sistemas naturais ou biológicos podem ser traduzidas para o ambiente construído, de modo a encontrar alternativas interessantes aos tradicionais elementos construtivos. Exemplos como o das torres em Abu Dhabi, que apresentam fachadas inteiras com elementos mecanizados que abrem e fecham de acordo com a incidência solar requerida pelos ocupantes, serão cada vez mais aplicados, buscando soluções sustentáveis e inovadoras para as cidades e os edifícios do futuro.

### 3.2 A ARQUITETURA PARAMÉTRICA E AS FERRAMENTAS DIGITAIS

O termo paramétrico pode significar uma miríade de conceitos. Segundo Davis (2013), há divergências nas definições da literatura sobre o que o termo paramétrico significa; podendo ser: a) o design capaz de mudanças – edições em tempo real, b) uma ferramenta projetual e, por fim, c) um novo estilo arquitetônico. O autor afirma ainda que tamanha variedade de definições faz com que muitos pesquisadores evitem o termo “paramétrico”, substituindo-o por: a) modelo flexível; b) design algorítmico; c) design generativo, nomeando alguns. É importante ressaltar que tais sinônimos dão ênfase ao que o modelo faz e não como o modelo foi criado (DAVIS, D. 2013, p. 30-33, Tradução nossa).

Para Leach (2014, p. 33), o design paramétrico está abrindo novos caminhos na prática da arquitetura, isso porque essa nova vertente projetual foi criada, desenvolvida e refinada, primariamente nas práticas comerciais e não dentro da academia, com a função de garantir que as edificações complexas de hoje sejam projetadas e construídas de forma eficiente, bem como dentro dos prazos e orçamentos estipulados.

Desde o final da década de 1990, esses avanços têm coincidido com o surgimento de um número amplo de unidades de pesquisa digital dentro de práticas comerciais, tais quais o *Specialist Modelling Group* do escritório *Foster and Partners*, *Gehry Technologies* surgida a partir do grupo *Gehry Partners*, o *Advanced Geometry Unit* da *Arup* e o *CODE* da *Zaha Hadid Architects* (LEACH, N. 2014, p. 33. Tradução nossa).

O termo paramétrico é empregado por arquitetos para se referir a todo e qualquer projeto, ou apenas aqueles que mudam (se adaptam), ou como uma ferramenta e por fim, aquela arquitetura projetada no estilo do “parametricismo” (DAVIS, D. 2013, p. 47, Tradução nossa). Porém, “é a construção e manutenção de relações explícitas dentro de um modelo paramétrico” que verdadeiramente distingue esse processo projetual dos demais (DAVIS, D. 2013, p. 48, Tradução nossa).

[...] defino um modelo paramétrico como muitos matemáticos o fariam: como **um conjunto de equações que expressam um modelo geométrico como funções explícitas de um número de parâmetros** (DAVIS, D. 2013, p. 48, Tradução e grifo nossos).

Para Sedrez e Martino (2018), a capacidade de obtenção de respostas projetuais a partir de uma definição computacional que apresentam parâmetros em aberto, é o que define um Sistema Generativo (SG). *Softwares* de programação visual, como o *Grasshopper*, utilizado na presente pesquisa, são um tipo de SG. Segundo Terzidis (2006), este processo constitui um algoritmo, por ser um conjunto de instruções dadas por um humano a serem realizadas por um computador.

Terzidis (2006) define um algoritmo como sendo um processo capaz de abordar determinado problema em um número finito de etapas; podendo ser “uma articulação de um plano estratégico para solucionar um problema conhecido ou uma busca especulativa de possíveis soluções para um problema parcialmente conhecido” (TERZIDIS, K. 2006, p. 15, Tradução nossa). Os algoritmos computacionais possibilitaram também uma expansão das limitações mentais dos arquitetos e designers.

Com a invenção do computador, algoritmos se transformaram em planos de implementação de problemas a serem desenvolvidos por computadores. [...]. Ao liberar o usuário do computador de preocupações materiais associadas com o trabalho,

habilidade, complexidade ou de fatores emocionais como compaixão, fadiga ou monotonia; computadores podem ser utilizados como veículos incansáveis que permitem ao humano realizar, vencer e por fim ultrapassar sua própria limitação física e mental (TERZIDIS, K. 2006, p.15-16, Tradução nossa).

Sedrez e Martino (2018) enfatizam essa parceria entre o projetista e o computador:

[...] os sistemas generativos não provocam a substituição do projetista pelo computador como autor de projetos; ao contrário, auxiliam os arquitetos a ampliarem a capacidade criativa e as possibilidades de projeto (SEDREZ, M; MARTINO, J.A. 2018, p.28).

Terzidis (2006) emprega o termo *algotecture* para se referir à utilização dos algoritmos na arquitetura e se distingue dos tradicionais termos CAD (*Computer Aided Design*) ou computação gráfica por não necessariamente se vincular ao emprego de computadores para sua realização.

Essa distinção é importante a medida que liberta, exclui e desassocia os processos matemáticos e lógicos usados para solução de um problema da máquina que facilitam a implementação desses processos (TERZIDIS, K. 2006, p.37, Tradução nossa).

No universo da computação gráfica, soluções podem ser encontradas para praticamente qualquer problema que sua complexidade, quantidade ou tipo de trabalho justifique o uso do computador (TERZIDIS, K. 2006, p. 37, Tradução nossa). Existem, porém, certos problemas cujas “complexidade, incerteza, ambiguidade ou gama de possíveis soluções requerem uma relação sinérgica entre a mente humana e um sistema computacional” (TERZIDIS, K. 2006, p. 37, Tradução nossa). Para o autor, tal sinergia só se faz possível através do uso de estratégias algorítmicas capazes de “garantir uma relação dialética e complementar entre a mente humana e a máquina” (TERZIDIS, K. 2006, p. 37, Tradução nossa).

Paramétrico é um termo usado em uma variedade de disciplinas desde a matemática ao design. Literalmente significa trabalhar com parâmetros dentro de um limite. Dentro do espectro do design contemporâneo, porém, se refere amplamente a utilização de um software de modelagem paramétrica (LEACH, N. 2014, p.34. Tradução nossa).

Segundo Bhooshan (2016), a arquitetura se encontra à frente na aplicação de tecnologias digitais em seus processos de produção e projeto desde a criação do *Sketchpad*, por Ivan Sutherland, em 1963; sendo conhecido como o primeiro software CAD (*Computer Aided-Design*) (SHAJAY BHOOSHAN, 2016, p.47). Desde então a arquitetura testemunhou uma fase exploratória e de novas descobertas através do uso de softwares computacionais e métodos de fabricação.

[...] uma equação paramétrica é definida como ‘um conjunto de equações que definem um conjunto de quantidades com funções explícitas de um número de variáveis independentes, conhecidas como ‘parâmetros’. [...] logo, um modelo paramétrico pode ser definido como: **um conjunto de equações que expressam um modelo geométrico como função explícita de um grupo de parâmetros** (DAVIS, D. 2013, p. 31. Tradução e grifo nossa).

Isso significa que, em um projeto paramétrico, a geometria, a forma, a estrutura, o espaço, e por que não, a qualidade sensorial dessa arquitetura; podem ser definidos a partir de equações matemáticas que relacionam um elemento ao outro, tornando-os interdependentes. Essa conexão faz com que, perante qualquer alteração desses parâmetros, o todo se ajuste, se molde, se transforme.

Em contraste aos pacotes de programas tradicionais baseados em objetos e dados geométricos, os programas paramétricos interligam dimensões e parâmetros à geometria permitindo consequentemente um ajuste incremental de uma parte que depois afeta o sistema como um todo (LEACH, N. 2014, p.34. Tradução nossa).

Davis (2013) afirma o que é mais importante para se compreender a modelagem paramétrica e é aquilo que realmente a define: a maneira como fora desenvolvido pelo arquiteto; estipulando matemática e fisicamente os resultados a partir da definição de parâmetros relevantes para o projeto.

[...] um modelo paramétrico é único não por conter parâmetros, não por ser capaz de mudança e nem por ser uma ferramenta ou um novo estilo arquitetônico, um modelo paramétrico é único não pelo o que faz, mas sim como foi criado. Um modelo paramétrico é criado por um designer definindo explicitamente como o resultado (*outcome*) se derivará

de um determinado grupo de parâmetros (DAVIS, D. 2013, p. 31, Tradução nossa).

Hudson (2010) atribui outro nome referido ao design paramétrico: design associativo. Isso porque programas paramétricos oferecem aos usuários meios de se criar relações explícitas e associações entre geometrias e objetos que são definidos através de variáveis ou funções, isto é, o projeto é feito por meio da associação de geometrias, equações, custos, definições materiais, restrições legais, realidades históricas, condicionantes físicos, e assim sucessivamente.

A criação do modelo generativo por parte de grandes escritórios se tornou uma pré-requisito em todo projeto. As vantagens de se ter um modelo ajustável às demandas oscilantes, capaz de adaptações em tempo real ditas pelos projetistas, fez o papel do arquiteto muito mais dinâmico e flexível. As interrelações geométricas estipulam um caminho capaz de solucionar uma gama de problemas, mas a característica mais útil para os projetistas é a flexibilidade e capacidade de correção e adaptação à possíveis erros de projeto, que normalmente, em projetos não parametrizados, requereriam do profissional horas extra de trabalho para um possível redesenho da estrutura e de seus desenhos.

Essa capacidade à adequação da forma de acordo com a demanda, seja ela estrutural, legal, ambiental, ou escolha do cliente; o modelo paramétrico apresenta a capacidade de ser sempre dinâmico e flexível, garantindo projetos mais segurança e estabilidade tanto na concepção quanto à execução.

### **3.2.1 A origem do pensamento paramétrico**

Os programas paramétricos originaram-se dentro de divisões de modelagem digitais especiais em alguns dos principais escritórios de arquitetura da atualidade, durante a década de 1990. Embora arquitetura paramétrica seja um termo recente na história da disciplina, Burry (2016) ressalta a importância dos trabalhos dos arquitetos Antoni Gaudí e Frei Otto que, durante o séc. XX, já faziam uso do pensamento paramétrico, mesmo não utilizando ferramentas digitais. Ambos projetaram através de modelos físicos invertidos que fazia uso da gravidade para descrever suas estruturas. Eles foram inspirados a usar a gravidade, um dos principais parâmetros de design da natureza, para informar ao invés de planejar a forma arquitetônica como um determinante físico essencial dentro do processo de design (BURRY, 2016, p. 34, Tradução nossa).

Já o primeiro arquiteto a empregar o termo “arquitetura paramétrica” foi, segundo Davis (2013), Luigi Moretti, na década de 1940.

Moretti definiu a arquitetura paramétrica como sendo o estudo de sistemas arquitetônicos de modo a definirem a relação entre dimensões dependentes de parâmetros variados (DAVIS, D. 2013, p. 18, Tradução nossa).

Para Carpo (2016), o pensamento paramétrico pode ser encontrado ainda mais distante na história da arquitetura. Segundo ele, algumas das regras de Vitruvius<sup>3</sup>, particularmente sofisticadas, eram com frequência no formato de uma sequência de cláusulas se-então (*if-then*) que são similares ao que hoje é conhecido por codificação processual. Ele ressalta também que algumas regras medievais explicavam como construir um objeto passo a passo, porém não determinava a forma individual de cada peça. Consequentemente, partes arquitetônicas com a mesma função e posição em edificações góticas são frequentemente similares, porém raramente idênticas umas às outras: todas pertencem a uma mesma classe, porém cada peça era individualmente diferente, ou de certa forma, especial (CARPO, 2016, p. 28, Tradução nossa).

Com a revolução industrial, produção em massa avançou de figuras para objetos 3D, e a cultura e tecnologias modernas de cópias idênticas substituíram as culturas antigas e medievais das variações escritas e artesanais. Isso é o que o Parametricismo digital confrontava ao final do século XX. E isso é o porquê foi e ainda é uma revolução: pois ele produz variações, tal qual o parametricismo arcaico, porém usa maquinário, tal qual a modernidade industrial; e, portanto, é capaz de produzir variações em massa, o que nem a antiguidade ou a modernidade jamais puderam (CARPO, 2016, p. 29, Tradução nossa).

### 3.2.2 A arquitetura paramétrica e seus diferentes conceitos

Compreende-se que todo processo projetual seja paramétrico. Davis (2013) afirma que, por definição, todo design é necessariamente paramétrico, por envolver questões como orçamento, características físicas como a gravidade e propriedades materiais. Condicionantes ambientais como posicionamento solar, ventos predominantes ou presença de elementos naturais importantes são também parâmetros muito utilizados

---

3 Marcus Vitruvius Pollio (80-70 AC) responsável pela elaboração do primeiro tratado de arquitetura.

pelos arquitetos contemporâneos. Para os matemáticos, uma equação paramétrica expressa uma relação entre dados numéricos e parâmetros e os resultados estão interligados aos mesmos através de equações explícitas. Neste trabalho o termo paramétrico é utilizado para delimitar o uso do computador para alterações automáticas no projeto conforme os parâmetros se modificam e fazer ajustes ao modelo à medida que o projeto se desenvolve assim como Hudson (2010) defende em sua tese.

O termo paramétrico foi recentemente adaptado de forma provocativa e intencional, significando um novo estilo arquitetônico. Schumacher (2010), defende que o parametricismo – em inglês, *parametricism* – será o grande estilo depois do modernismo, com características como: evitar geometrias rígidas e primitivas e evitar a justaposição. Schumacher afirma também que todas as formas são parametricamente maleáveis e apresentam uma diferenciação gradual (em níveis variáveis) (SCHUMACHER, 2010, *apud* DAVIS, 2013, p. 29. Tradução nossa). Leach (2014) discorda do posicionamento de Schumacher, afirmando que a parametrização não deve ser entendida meramente como um novo estilo arquitetônico e sim como um novo método projetual.

Certamente o que o mundo da computação promete não é meramente um novo estilo, mas um novo método de abordagem de design, onde se insere novas técnicas computacionais em sistemas emergentes e evolucionários, e onde se cria e testa novos sistemas em tempo real, de forma que o diagrama se torna realidade e a realidade o diagrama. Forma deveria ser vista como irrelevante dentro deste novo horizonte. Deveríamos focar em processos de design mais inteligentes e lógicos. Lógica deveria ser a nova forma”. (LEACH, 2014, p.34, Tradução nossa).

O método de projeto paramétrico é um tipo de sistema generativo, como afirmam Celani, Vaz & Pupo (2013). Segundo os autores o sistema generativo (SG) é um método indireto de projeto no qual, ao contrário de se preocupar com a solução de um problema específico, o projetista se preocupa com a definição de um processo que possibilite a solução de problemas semelhantes em diferentes contextos apresentando características que se distinguem ligeiramente. Característico deste método, por exemplo, é a presença não de elementos idênticos e modulares e sim semelhantes em suas descrições matemáticas, porém gradualmente distintos. Cada elemento do projeto pode ser customizado de modo a atingir uma complexidade da forma capaz de ser fabricado com técnicas de produção automatizadas e fabricação digital.

Sedrez e Martino (2018) destacam os autômatos celulares e os fractais como tipos de SGs com conceitos vindos da matemática e da computação. Diferentemente dos processos tradicionais no qual o arquiteto foca seus esforços diretamente no objeto, a abordagem do projeto generativo resulta em um sistema responsável pela geração das soluções. “Os SGs podem gerar uma família de soluções para um mesmo problema” (SEDREZ, M; MARTINO, J.A. 2018, p. 26). Essa capacidade de geração de soluções múltiplas permite uma análise aprofundada do problema de projeto. Esta é, segundo Sedrez e Martino (2018) a primeira característica dos SGs, analisada por Fischer e Herr (2001). A segunda característica é a grande “possibilidade criativa” destes sistemas, devido ao aumento da probabilidade de inovação dada a geração de “um grande número de soluções”. Já o terceiro marcador dos SGs é a obtenção de projetos mais adequados ou bem adaptados à questão projetual proposta. Isso “seria possível a partir de definições muito precisas para um dado problema” (SEDREZ, M; MARTINO, J.A. 2018, p. 26).

Hudson (2010) afirma que a modelagem paramétrica se trata de um método, uma ferramenta de projeto, que se ocupa em descrever as relações entre os parâmetros e os resultados desejados.

(...) O processo de produção do modelo paramétrico foi descrito como sistematizar e construir um equipamento de controle ao invés da geometria do objeto propriamente dita. (...) **o processo é sobre declarar parâmetros e não forma** (AISH, 2005; BURRY, 1999; *apud*, HUDSON, R. 2010, p. 57. Tradução e grifo nossa).

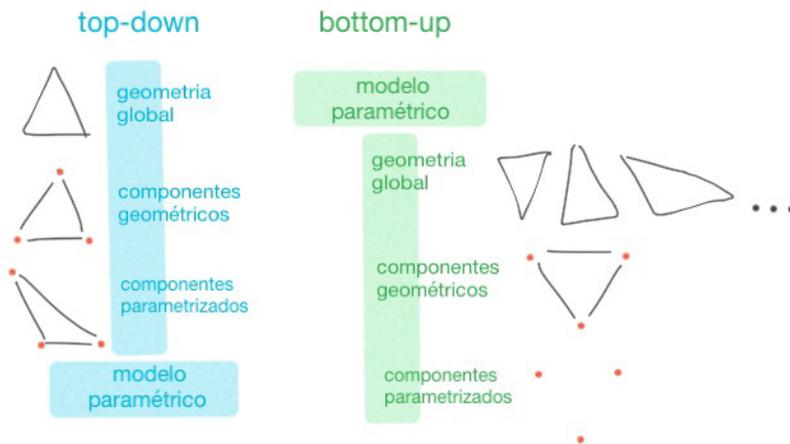
A modelagem paramétrica é, então, uma ferramenta ou método de projeto, que se encarrega de descrever a solução para um problema através de relações e restrições matemáticas de parâmetros em aberto. Essa construção garante um modelo digital flexível, capaz de se adequar às diferentes demandas do projetista através da estipulação de novos parâmetros ou até mesmo novas relações descritivas. A seguir, será discutido as diferentes formas de se alcançar um modelo paramétrico.

### 3.2.3 A modelagem paramétrica e sua caracterização

A composição de um modelo paramétrico é realizada através de duas abordagens possíveis. São elas, segundo descrição de Chaszar & Coenders (2007), uma abordagem *top-down* e uma *bottom-up* [os termos empregados pelos autores não foram traduzidos devido a sua ampla utilização na pesquisa paramétrica]. Na modelagem *top-down* a informação

dos componentes parametrizados origina-se a partir de uma geometria global, isto é, o projetista desenvolve o modelo parametrizado a partir de uma geometria pré-definida (ponto, curva, superfície, sólido, etc.). O processo *bottom-up*, por outro lado, começa pela definição dos componentes ou suas partes e então são conectadas de modo a resultarem na geometria global (CHASZAR & COENDERS, 2007; Apud HUDSON, R. 2010, p. 57. Tradução nossa) (Figura 14). Nota-se que por se tratar de um modelo paramétrico, a geometria global resultante é na verdade uma família de soluções possíveis dentro dos parâmetros estipulados pelo projetista.

Figura 14: Esquema das duas abordagens possíveis na modelagem paramétrica.



Fonte: Elaboração nossa através do software de desenho em tablet *Concepts* © 2018, baseado na descrição de CHASZAR & COENDERS, 2007, Apud HUDSON, R. 2010, p.57.

Para Davis (2013), o que realmente distingue um modelo paramétrico de outras formas de representação arquitetônica é a maneira como este modelo foi desenvolvido – através da construção e manutenção de relações matemáticas – e não aquilo que é capaz de realizar, tanto em termos de como o modelo se comporta ou seu resultado estético. “A característica marcante de um modelo paramétrico não é o resultado [*output*] e sim a necessidade de construir e manter relações [matemáticas] associadas com o modelo”. (DAVIS, D. 2013, p. 15. Tradução nossa).

Uma segunda característica observável em modelos paramétricos – além da presença de parâmetros – é sua capacidade de adaptação e

mudança. Uma vez que a definição paramétrica estabelece uma ligação direta através de “funções explícitas” entre os elementos do modelo, é possível concluir que ao se alterar um parâmetro do modelo em questão, a geometria resultante será modificada conforme dita a expressão que a define. “Este fato levou alguns autores a afirmarem que **mudança é paramétrica**” (DAVIS, D. 2013, p. 24. Tradução e grifo nosso).

Através da exploração do espaço do design, isto é, o campo de possíveis soluções projetuais de determinada problemática, considerado indispensável na atividade da produção arquitetônica, a modelagem paramétrica pode auxiliar nas investigações propositivas do arquiteto. A natureza do modelo paramétrico é de permitir alterações e facilitar a exploração. Esta, pode resultar em uma melhor descrição da problemática bem como pode descobrir novas formas mais bem adequadas ao contexto do projeto. Isso ocorre devido a habilidade de realização de buscas mais precisas e ágeis, possíveis graças ao tempo e esforço reduzidos requeridos para se fazer mudanças no modelo paramétrico (AISH & WOODBURY, 2005, *apud* HUDSON, R. 2010, p.65. Tradução nossa.)

Deve-se, porém, se apresentar uma ressalva. Por mais que a capacidade de mudança seja uma das principais características atribuídas aos modelos paramétricos, ela não é exclusiva a eles. Modelos geométricos explícitos, aqueles em que o projetista modela, desenha e manipula a forma de maneira direta, isto é, sem definir relações matemáticas para isso, como os modelos gerados em softwares tais quais *Google Sketchup 3D*, *AutoCad* e *VectorWorks*; também são capazes de mudança. Ferramentas de rotação, manipulação de escala ou alteração de pontos guias da geometria – manipulação de uma superfície triangulada (*mesh*), por exemplo – são algumas das maneiras de se alcançar mudanças nesses modelos. (DAVIS, D. 2013, p. 25. Tradução nossa).

Agora, se tanto um modelo paramétrico quanto um modelo explícito são capazes de mudança, qual seria a vantagem de um sobre o outro? Davis (2013) elabora este pensamento afirmando dizer respeito ao custo de alteração.

Em teoria, um modelo paramétrico auxilia a reduzir o custo de alteração dado que os parâmetros e funções explícitas requerem menor esforço de alteração se comparados a métodos de modelagem explícita (DAVIS, 2013, p. 36, Tradução nossa).

A capacidade de mudança dos modelos paramétricos garante uma grande flexibilidade projetual para o arquiteto. Essa flexibilidade se dá conforme a criação das relações explícitas ditadas – no caso, programadas – pelo projetista paramétrico, isto é, depende daquele que comanda a

ferramenta definir quais parâmetros se relacionam com quais geometrias, materiais e características do projeto. Isso significa que é função do projetista prever e predefinir onde essas alterações ocorrerão no modelo, aumentando ou diminuindo o grau de flexibilidade do modelo paramétrico.

Flexibilidade consiste no princípio central da modelagem paramétrica. Ao manter um modelo flexível o designer é capaz de fazer modificações, o que é importante dada a inevitabilidade de que ocorram mudanças em um projeto arquitetônico (DAVIS, 2013, p. 36, Tradução nossa).

A dificuldade maior em predefinir o quanto o modelo paramétrico será flexível se dá pela imprevisibilidade de certas alterações, isto é, nem todas as alterações cabem ao arquiteto definir. O excerto abaixo detalha essa dificuldade encontrada pelos projetistas:

Enquanto que algumas alterações podem ser previstas, muitas estão fora da alçada do projetista. Por exemplo, o cliente pode alterar aquilo que deseja (briefing), políticos podem alterar legislações, o mercado pode alterar os preços de materiais construtivos. Outras mudanças ocorrem porque projetar é um processo que gera conhecimento. Geralmente é apenas através de interação, exploração e reflexão que o problema – bem como a solução projetual – se torna conhecido (GLEGG, 1969; SCHON, 1983; LAWSON, 2005; CROSS, 2006, *Apud* DAVIS, 2013, p. 36, Tradução nossa).

O método de modelagem paramétrica envolve também a utilização de múltiplas modais representativas, tais quais a geometria, símbolos e *script* (tipo de programação feita em linha, isto é, escrita como texto). A aplicação das diferentes mídias força o arquiteto a reescrever seu projeto e essa alteração entre modais tende a provocar a inovação (KILIAN, 2006 a, *Apud* HUDSON, R. 2010, p.65. Tradução nossa.)

Definir uma arquitetura a partir de equações e relações geométricas dentro de um software especializado apresenta uma grande vantagem àqueles projetos que envolvem múltiplos profissionais. Os modelos paramétricos podem ser usados para compartilhar informações entre a equipe de projetistas ao mesmo tempo que permitem avaliações do projeto. Quando o modelo paramétrico é usado como uma ferramenta de comunicação e compartilhamento de dados, cada especialista envolvido pode analisar o projeto separadamente e alterá-lo de acordo com seus conhecimentos. Implicações estruturais, ambientais e de fabricação po-

dem ser captadas e repassadas por intermédio de uma gama de modelos compartilhados (HUDSON, R. 2010, p. 67.)

Técnicas paramétricas são altamente eficientes na remodelagem de formas e propiciam maior controle do processo de design. Elas também apresentam informações mais precisas para o processo de fabricação digital. Seria errado, porém, assumir que o design paramétrico só se preocupa com a forma. Ao contrário, técnicas paramétricas equipam o arquiteto com novos modos de eficiência comparados a técnicas tradicionais e novas formas de coordenação do processo construtivo (BIM) [...] A grande vantagem de tais pacotes (BIM) é que eles permitem que o time de construção interaja em apenas uma plataforma, e permite maior nível de controle em termos de monitoramento do tempo e custo da construção (LEACH, N. 2014, p.34, Tradução nossa).

Outra vantagem da abordagem paramétrica na arquitetura seria a de uma maior otimização e controle do projeto conferido ao projetista, uma vez que os modelos paramétricos possuem a característica de geração de dados ou informações adicionais. Um exemplo disto seria acerca de informações quantitativas do projeto (ex.: volume de material), atrelado à edição facilitada dos componentes devido às suas relações algorítmicas. Basta se alterar um dado parâmetro que todo o modelo se adequará a nova demanda, seja ela material, estrutural, financeira ou legal.

Agora, descrever uma geometria utilizando uma linguagem de programação, seja ela visual ou por *script*, pode se tornar um trabalho árduo dependendo da complexidade exigida no projeto. Outra desvantagem é que trabalhar com constructos físicos na geração do conceito pode dificultar uma exploração mais livre do problema, como por exemplo, desenho à mão livre.

Outro importante fator a se destacar no uso do projeto paramétrico é o caso da coautoria dos projetos. Devido a oportunidade de compartilhamento de dados por meio de ferramentas computacionais, algoritmos e *softwares* entre os principais participantes do processo de projeto, sejam eles arquitetos, engenheiros ou fabricantes, gera um resultado projetual conjunto que dificilmente poderá ser atribuído a um profissional isolado (BHOOSHAN, S. 2016, p.47).

Pensar de forma paramétrica requer uma nova abordagem dos arquitetos e, segundo Davis (2013), o poder de edição do modelo (no

caso edição do projeto em andamento) bem como o poder de definir as relações geométricas do projeto faz com que esta abordagem seja muito proveitosa no processo de design.

Expressar intenções de design como parâmetros e formas explícitas requer uma forma diferente de pensar que a maioria dos designers estão acostumados. Em adição a pensar sobre o que estão projetando, arquitetos trabalhando com modelos paramétricos devem também pensar sobre a sequência lógica de fórmulas, parâmetros e relações que explicam como criar seus designs (DAVIS, 2013, p. 32, Tradução nossa).

Devido à descrição metódica a partir de parâmetros e equações, a fase inicial do projeto, quando se envolve a parametrização, tende a ser mais árdua. O empenho será recompensando, porém, à medida que o projeto for evoluindo e alterações, prototipagens e simulações forem requeridas dos projetistas.

[...] aprender a projetar de forma tão controlada possa ser difícil, a precisão lógica pode também ser apreciada por designers [...] que gostam de como o modelo paramétrico os força a explicitar cada relação geométrica. [...] o real benefício em aprender a pensar parametricamente venha do valor de alteração (DAVIS, D. 2013, p. 34, Tradução nossa).

Lima (2018, p. 115) afirma que a parametrização é uma “modelagem discursiva da arquitetura”, na qual a maior relevância se encontra no “comportamento do sistema na sua troca de informação com o ambiente”. O autor enfatiza que contrária a grande especulação formal presente na modelagem paramétrica, a descrição em SGs estabelece uma coerência entre o objeto e o meio, “promovendo um desenho crítico consistente”.

### 3.2.4 Dificuldades da modelagem paramétrica

A elaboração de um sistema paramétrico requer do arquiteto alguns cuidados para um melhor aproveitamento das capacidades adaptativas do modelo. Davis (2013) elencou cinco dificuldades da modelagem paramétrica encontradas pelos profissionais da área. São elas: a) planejamento antecipado; b) antecipação da flexibilidade; c) grandes modificações; d) modificações cegas e e) reuso e compartilhamento.

A primeira dificuldade da modelagem paramétrica é o **planejamento antecipado** – *Front-loading* é o termo empregado pelo autor – diz

respeito à primeira etapa de projeto. Para muitos arquitetos essa etapa é a mais prazerosa, talvez por encontrar maior liberdade de criação ou menos amarras construtivas ou legais; porém, quando o assunto é projeto paramétrico essa etapa se torna diferente.

[...] a criação de um modelo paramétrico requer certo grau de planejamento antecipado. [...] projetistas criando modelos paramétricos necessitam planejar cuidadosamente o modelo, definindo de antemão qual elemento estruturador do projeto seria dependente de outros elementos (DAVIS, D. 2013, p. 39. Tradução nossa).

Em se tratando de um projeto ou modelo paramétrico, o arquiteto agora precisa estipular as relações construtivas do projeto, fazendo com que o resultado do modelo seja ao menos previsto por ele, de modo que consiga relacionar corretamente os parâmetros aos resultados esperados. Ao analisar essa etapa inicial de projeto, Davis (2013) afirma, com base em Aish & Woodbury (2005), que:

[...] a parametrização requer esforço adicional, aumenta a complexidade das decisões iniciais de projeto bem como o número de itens que requerem a atenção do projetista durante essa tarefa inicial. Tal esforço adicional requerido para se projetar utilizando funções explícitas necessita que o designer tenha certa noção do produto antes de descrever o modelo algorítmico (DAVIS, D. 2013, p. 40, Tradução nossa).

A segunda dificuldade da modelagem paramétrica é a **antecipação da flexibilidade**. Esta diz respeito a adequações futuras do projeto que necessitam ser previstas pelo arquiteto, isto é, definir parâmetros capazes de acomodar futuras alterações projetuais.

[...] parte do planejamento antecipado do modelo paramétrico envolve antecipação de futuras modificações no projeto. Se mudanças forem antecipadas, o modelo pode ser estruturado com parâmetros apropriados para acomodarem tais mudanças (DAVIS, D. 2013, p. 40, Tradução nossa).

Prever futuras alterações no projeto pode ser uma tarefa difícil. O cliente pode adquirir outro terreno para aquele determinado projeto, a legislação de uso e ocupação do solo pode ser modificada pelas políticas públicas, o preço dos materiais de construção empregados pode ser alterado pelo mercado. A questão aqui é conseguir encontrar qual tipo de

alteração poderia vir a acontecer durante a fase de projeto e definir os parâmetros de modo que se adequem a tais possíveis alterações. O modelo deve ser, portanto, flexível.

Agora, se a flexibilidade do modelo paramétrico é de tão vital importância, bastaria desenvolver o algoritmo mais flexível possível. Davis (2013) explica que esta abordagem pode não ser tão vantajosa quanto se imagina primeiramente.

Dada a importância de antecipar flexibilidade, uma resposta óbvia seria a de tornar cada aspecto do modelo flexível, isto é, adicionar parâmetros para cada possível capricho do projetista. Porém parâmetros têm seu custo. Eles requerem trabalho antecipado para implementação e requerem ainda mais empenho para modifica-los [...]. A habilidade de antecipar flexibilidade é conseguir balancear entre muita e muito pouca flexibilidade (DAVIS, D. 2013, p.40, Tradução nossa).

Pequenas alterações ao longo do projeto, como adição de um cômodo a ser suportado por um conjunto estrutural ou rotação de uma janela de modo a permitir um maior aproveitamento da vista do local; estão entre as pequenas modificações que um modelo paramétrico se adequa muito bem. Existem, porém, alterações muito grandes que podem dificultar a modelagem paramétrica.

A terceira crítica de Davis (2013) se diz respeito a exatamente esta problemática: as **grandes modificações** que podem ocorrer ao longo do processo projetual põem à prova a flexibilidade e adaptabilidade do modelo programado pelo projetista.

Até mesmo com a melhor antecipação de modificações, a inflexibilidade de modelos paramétricos frente à grandes alterações comumente apresentam ao projetista uma única saída: começar do zero (DAVIS, D. 2013, p.43. Tradução nossa).

A flexibilidade e capacidade de mudança dos modelos paramétricos é compreendida como sendo uma de suas principais características. As mesmas podem, porém, significar um grande problema de projeto. Modelos paramétricos tendem a ser compartilhados e editados por mais de um profissional e, na maioria dos casos, aqueles que editam não estão tão cientes dos caminhos que foram tomados para que se chegassem àqueles resultados, isto é, não foram os autores do algoritmo.

Isso significa que aos olhos daquele que edita, uma pequena modificação dos parâmetros resultará em uma curvatura mais agradável de

uma parede ou quem sabe irá alargar um pilar desejado. Essa alteração, porém, pode resultar na modificação de outra parte do projeto que não se desejava, e o agravante é que essa modificação pode passar despercebida pelos projetistas até que seja tarde. Trata-se da quarta crítica à modelagem paramétrica de Davis (2013): **modificações cegas**.

Uma vez que se tem o programa em funcionamento, caso alguém altere determinado parâmetro, poderá afetar a geometria em algum lugar do projeto que o designer não queira que seja alterado. Isso ocorre regularmente e tal alteração pode não ser detectada até muito tarde na fase de projeto, ou, ainda pior, na fase mais cara: a construtiva (SMITH, R. 2007,2, *apud* DAVIS, D. 2013, p. 44, Tradução nossa).

A quinta e última crítica ao modelo paramétrico diz respeito a seu **reuso e compartilhamento**. Esses modelos são, segundo Davis (2013), difíceis de serem reutilizados e compartilhados. Isso porque normalmente o código é criado por um profissional que possui maior conhecimento no campo da programação e é compartilhado com outros que nem sempre sabem como o algoritmo fora criado ou o porquê de determinadas conexões ali presentes.

*A Parametric Technology Corporation* (PTC, 2008, 3) reconhece tal problema e afirma: ‘até após a criação de um modelo paramétrico, outros designers não conseguem modificá-lo facilmente pois não possuem o conhecimento acerca de como fora criado e sua original intenção de projeto (DAVIS, 2013, p. 45. Tradução nossa).

As cinco críticas ao modelo paramétrico de Davis (2013) são de suma importância para uma compreensão mais aprofundada da modelagem paramétrica. Ele afirma também que “talvez o que é ainda mais notável é o fato de que modelos paramétricos adotados na prática são comumente sabotados por aquilo que propositalmente acomodam: mudança” (DAVIS, D. 2013, p.46, Tradução nossa).

O que é demonstrado nesta pesquisa, através dessas cinco críticas, é que existe uma grande dificuldade por parte dos arquitetos em expressar suas intenções projetuais através de funções explícitas, ao mesmo tempo em que deixam de perceber mudanças no design e falham na reutilização e compartilhamento desses modelos paramétricos.

[...] Tais observações são averiguadas independentemente do software paramétrico utilizado, da

composição do time projetista, do estágio em que o modelo paramétrico é implementado no projeto, os tipos de alterações requeridas e da complexidade do projeto (DAVIS, D. 2013, p.47. Tradução nossa).

O que fica claro em relação à modelagem paramétrica é que sua capacidade de adaptação perante modificações ao longo do projeto é extremamente útil e relevante para os projetistas, sejam eles arquitetos, engenheiros ou designers. Sendo o ato de projetar um processo extremamente complexo e retroalimentado, ou seja, gera respostas ao mesmo tempo que gera dúvidas, gera soluções ao mesmo tempo que gera problemas; a abordagem da arquitetura paramétrica sistematiza, auxilia e amplia o campo de visão do projetista durante esse processo. Seja na fase inicial de projeto (geração de ideias), na fase de implementação e detalhamento construtivo ou até mesmo na fase final, a de produção; o projeto paramétrico se tornou uma ferramenta de projeto muito utilizada nos grandes escritórios de arquitetura da atualidade bem como nas renomadas faculdades ao redor do globo.

### 3.3 GREG LYNN E A FILOSOFIA DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS

Conforme levantado nessa dissertação, a busca pela complexidade por parte dos arquitetos contemporâneos está intimamente ligada ao desenvolvimento das ciências computacionais e teorias matemáticas da segunda metade do século passado. Para Terzidis (2006), “complexidade é um termo usado para denotar a extensão da descrição de um sistema ou a quantidade de tempo requerida para a criação do sistema” (TERZIDIS, K. 2006, p. 52. Tradução nossa).

No campo da arquitetura e do design, a teoria da complexidade está associada a sistemas artificiais, sintéticos e feitos pelo homem (TERZIDIS, K. 2006). Graças ao desenvolvimento tecnológico-computacional que a sociedade passou, o homem foi capaz de expandir os limites de seu próprio intelecto, utilizando algoritmos processuais complexos, ferramentas computacionais e sistemas avançados. Esses avanços foram “capazes de expandir o pensamento do designer para um mundo outrora desconhecido e inimaginável da complexidade” (TERZIDIS, K. 2006, p. 52. Tradução nossa).

Um dos arquitetos contemporâneos que se destaca no universo do design computacional e paramétrico é Greg Lynn. Americano, formado em filosofia e arquitetura, Lynn desenvolveu grande afinidade ao longo de sua carreira pelas tecnologias digitais de projeto e manufatura. É um dos pioneiros na utilização de tecnologias digitais em projetos tanto no

campo da arquitetura quanto do design industrial bem como na fabricação e manufatura de formas funcionais e ergonômicas utilizando maquinário controlado numericamente CNC (*Computer Numerically Controlled*) (LYNN, G. 2018). Para BOUMAN (2004), a arquitetura é mais que uma arte liberal, ou um provedor de serviços, ou órbita social; ela possui sua própria agenda que deve ser respeitada por todos aqueles que desejam ajudá-la a evoluir.

Bouman (2004) afirma que Lynn compreende a arquitetura como sendo uma disciplina, ou seja, deve ir além dos desejos do cliente, do briefing e do próprio arquiteto que a projeta, de modo que se possa alcançar uma agenda comum. Deve haver uma “consistência maior que clareza de expressão”. Lynn incorpora em seu trabalho tal máxima e aplica uma “visão diferente da arquitetura como um corpo de conhecimento que requer certa abordagem disciplinar” (BOUMAN, O. 2004, p. 8, Tradução nossa). O autor afirma ainda que a arquitetura de Lynn não representa um impulso formalista e sim um “passo lógico em uma teoria arquitetônica pós-humanista” (BOUMAN, O. 2004, p. 8-9, Tradução nossa).

Através da geometria, a arquitetura pode assumir uma linguagem universal clara que atravessa diferentes eras e culturas. O idealismo filosófico no qual essa abordagem se baseia também implica em um organicismo. Quando um projeto incorpora as proporções divinas, cada adição e cada omissão desconta do todo. O edifício é o todo, representa completude. Logo, uma composição e um *grid* de acordo com as regras dimensionais acordadas se fazem uma condição necessária. Qualquer alteração dessas regras altera, também, o todo. (BOUMAN, O. 2004, p. 9, Tradução nossa).

Segundo Bouman (2004), essa busca de Lynn por uma nova arquitetura que represente os valores não transcendentais da contemporaneidade, precisaria acima de tudo, de uma nova forma. Para Lynn o que deve permanecer é a unidade entre conteúdo e forma:

O que é necessário para uma teorização rigorosa da diversidade e diferenciação dentro da disciplina arquitetônica é precisamente uma matemática da forma alternativa; um formalismo que não seja redutível a *villas* ideais ou outras tipologias fixas, mas que seja diferenciado livremente em sua essência. [...]. Separar o pacto entre corpos orgânicos e a linguagem geométrica exata que governa as tipolo-

gias espaciais estáticas da arquitetura é uma tarefa monumental. [...] qualquer tentativa em dissociar essa aliança deve simultaneamente ‘desterritorializar’ a autonomia de organismos inteiros e substituir a exatidão da geometria rígida por sistemas descritivos mais maleáveis (LYNN, *apud* BOUMAN, O. 2004, p. 11, Tradução nossa).

Bouman (2004) afirma que o arquiteto descreve sua arquitetura como sendo “suave”, isto é, “misturas suaves são feitas de elementos díspares que mantêm sua integridade enquanto são fundidos dentro de um campo contínuo de outros elementos livres” (BOUMAN, O. 2004, p. 11. Tradução nossa). O autor continua afirmando que para melhor compreender o que Lynn quis dizer com “sistemas descritivos mais maleáveis” basta olhar mais atentamente à suas obras (Figuras 14 e 15). Seu trabalho não é sobre “clareza volumétrica” vigentes nas leis da geometria e sim um dilema puramente científico: a necessidade de aplicar novas percepções. Uma dessas novas percepções aplicada por Lynn em suas obras refere-se ao biólogo Gregory Bateson, no qual o arquiteto encontra uma “reversão de reducionismo clássico”:

Lynn defende que o desaparecimento da simetria e homogeneidade formal é um sinal de que mais informação pode ser incorporada dentro de um sistema simbólico: ‘quebra de simetria não é uma perda e sim um aumento organizacional dentro de um sistema aberto, flexível e adaptativo’”. (LYNN, *apud* BOUMAN, 2004, p. 12, Tradução nossa).

Figura 15: Igreja Presbiteriana da Coreia, Nova York. 1999. Vista lateral. Greg Lynn Form.



Fonte: <<http://glform.com/>> acesso em: 01 fev. 2018.

Figura 16: Igreja Presbiteriana da Coreia, Nova York. 1999. Vista Frontal. Greg Lynn Form.



Fonte: <<http://glform.com/>> acesso em: 01 fev. 2018

Outro pesquisador que influenciou Lynn em sua exploração por uma arquitetura fluida, maleável (“*smooth architecture*”), foi o escritor e filósofo francês Georges Bataille. Ele sugeriu que “arquitetura é o local onde a universalidade da geometria prende a base material dos corpos temporais”. As linhas da ordem arquitetônica, aprofunda Lynn (2004), fazem uma conexão ao mundo como um todo, ao mesmo tempo em que se relacionam com as características morfológicas específicas das formas (LYNN, G. 2004, p. 36, Tradução nossa).

Hollier (1989) afirma que a arquitetura tem a função de criar famílias de formas, também chamadas de arquétipos. “Sem arquitetura o mundo permaneceria ilegível. A natureza é o arquétipo da arquitetura somente até o ponto em que a arquitetura é o arquétipo da natureza” (HOLLIER, D. 1989, *apud* LYNN, 2004, p.57, Tradução nossa). Para Lynn (2004) a arquitetura desenvolve uma função como organizadora dos corpos biológicos:

Tipos arquitetônicos organizam a matéria amorfa. Proporção arquitetônica, adicionalmente, alcança o estado transcendental de um corpo abstrato, holístico e orgânico. Ela adota a lógica de um organismo que é nem matemática ou matéria. [...]. Os termos orgânico, organismo e organização podem ser intercambiáveis de forma que todos delimitam coisas que são completas – todo –, isto é, apresentam tanto um limite externo rígido [...] quanto um espaço interior fechado às forças externas imprevisíveis (LYNN, 2004, p. 37, Tradução nossa).

Com a geometria sendo o meio de materialização da arquitetura e sendo um meio pelo qual percebemos a natureza, um olhar mais preciso sobre a geometria se torna necessário. Lynn (2004) conclui a partir dos filósofos Gilles Deleuze e Félix Guattari que geometria não é mais uma medida estática de características unitárias e invariantes e sim um “plano de consistência” no qual ocorrem transformações e deformações. Para a medição que descreve “corpos espaciais em constante mutação”, Lynn defende o emprego de um sistema métrico mais fluido e dinâmico (LYNN, 2004, p. 38-39, Tradução nossa).

É possível que de fato utilidade, economia ou estrutura não sejam os elementos que mais fixem a arquitetura estaticamente e sim sua predileção por uma geometria ideal. [...]. Arquitetura tende a empregar geometrias eidéticas: isto é, elas se manifestam visualmente como puras coordenadas espaciais; são idênticas a si mesmas, significando nada além de si próprias; são identicamente reproduzíveis; e são traduzidas de modo absoluto para todas as pessoas, em qualquer era (LYNN, G. 2004, p. 39-40, Tradução nossa).

Um exemplo de geometria eidética seria a esfera. “Uma superfície composta de um número infinito de pontos equidistantes de um único raio” (LYNN, G. 2004, p.40). Em contrapartida, objetos considerados arredondados podem ser mais ou menos esféricos enquanto que dois desses objetos nunca serão absolutamente idênticos. Lynn (2004) chama esse fenômeno de objeto vago.

A exatidão geométrica proporcionada pelas formas eidéticas, segundo Lynn (2004), tende a transformar as particularidades dos objetos vagos em inexatidões por meio de reduções matemáticas. A linguagem universal da proporção se dá por meio desse processo de simplificação matemática, transformando particularidades e diferenças como meras variações geométricas.

Corpos proporcionais estão presos pela exatidão geométrica. [...]. Por causa dessa predileção pela inflexibilidade e proporção, a arquitetura se tornou o local privilegiado para a alusão da geometria eidética e organização holística (LYNN, G. 2004, p. 41, Tradução nossa).

Lynn (2004, p. 41), porém, faz uma ressalva quanto a esta descrição holística e orgânica da arquitetura. Para ele, deve-se ter cautela com arquiteturas descritas puras ou orgânicas, pois um organismo apresenta

a lógica de ser fechado para si, protegido; auto regulatório e autodeterminado. O autor continua afirmando que tipos orgânicos considerados como um todo, no sentido completo da palavra, são completos ao ponto de exclusão.

Para que o arquiteto consiga dissociar o pacto entre corpos orgânicos e a linguagem geométrica exata que se tornou a premissa dos espaços arquitetônicos, um árduo caminho deve ser trilhado.

Qualquer tentativa em aliviar essa aliança [corpos orgânicos e exatidão geométrica] deve simultaneamente desterritorializar [o termo usado pelo autor é *deterritorialize*] a autonomia de organismos inteiros e substituir a exatidão da geometria rígida por sistemas descritivos mais maleáveis (LYNN, G. 2004, p. 41, Tradução nossa).

Terzidis (2006) acredita que a descrição dada por Greg Lynn para as plasticidades geradas pelas tecnologias digitais, baseando-se nas teorias de Deleuze sobre continuidade e suavidade; podem até ter certo valor em nível de fenômeno, porém, certamente não credita verdade em nível matemático. Terzidis (2006) afirma que “curvas polinomiais ou superfícies, por exemplo NURBS, apresentam um comportamento contínuo e suave apenas quando implementadas em um sistema computacional” (TERZIDIS, K. 2006, p.56. Tradução nossa).

[...] natureza produz design e arquitetura. Toda consciência e pensamentos são componentes da vida e, por conseguinte, partes da natureza. Todo design e arquitetura são componentes da consciência e do pensamento. Logo, design e arquitetura são partes da natureza (DOLLENS, D. 2009, p. 413, Tradução nossa).

A arquitetura contemporânea se baseia cada vez mais em sistemas digitais de projeto e fabricação e suas repercussões formais, teóricas e práticas devem ser discutidas e analisadas pelos profissionais da atualidade. Produzir arquitetura no século XXI sem um pensamento crítico sobre a influência desses novos métodos de produção e projeto é negar a evolução da disciplina como um todo. Inúmeros campos do conhecimento estão aderindo as teorias computacionais, matemáticas e biológicas do final do século XX e aplicando-as em suas respectivas áreas de modo a produzirem conhecimento condizente com o futuro da humanidade.



## 4 O EXPERIMENTO PRÁTICO DA PARAMETRIZAÇÃO E DA ARQUITETURA BIO-INSPIRADA

Projetar é uma atividade de solução de problemática complexa que envolve diferentes possíveis soluções para determinada questão. Terzidis (2006) afirma que os problemas com que os arquitetos e designers são confrontados não são “necessariamente solucionáveis no senso tradicional de encontrar um caminho entre A e B” e que, desta forma, “seria mais apropriado o uso do termo enfrentamento da problemática (*problem-addressing*) ao invés de solução da problemática (*problem-solving*)” (TERZIDIS, K. 2006, p. 37-38. Tradução nossa). Conforme tratado nesta dissertação, os algoritmos são um método apropriado para este “enfrentamento da problemática”, principalmente pela sua capacidade de “expandir os pensamentos humanos além de suas limitações” (TERZIDIS, K. 2006, p. 38. Tradução nossa).

A modelagem paramétrica e a criação de sistemas generativos como ferramentas de projeto capazes de enfrentar as problemáticas de design, requerem do projetista um conhecimento “mais similar à programação do que ao design convencional” (Wesiberg apud. Davis 2013).

Esta diferença de abordagem do processo projetual, entre solução e enfrentamento, defendido por Terzidis (2006), permite o surgimento de uma importante discussão no campo da arquitetura. A noção enfrentamento x solução (*addressability versus solvability*), segundo Terzidis (2006), é relevante no campo do projeto pois permite que o “algoritmo confronte um problema, oferecendo sugestões que nunca ocorrerão ao projetista humano” (TERZIDIS, K. 2006, p. 38. Tradução nossa). Desta forma, a relação sinérgica estruturada entre máquina e homem, propicia o “imprevisível, impossível ou desconhecido a serem fatores convidativos à exploração” e não ao medo (TERZIDIS, K. 2006, p. 38. Tradução nossa).

### 4.1 O WORKSHOP COMO EXERCÍCIO PRÁTICO-TEÓRICO

O Workshop de Arquitetura Bio-inspirada intermediada por tecnologias paramétricas de modelagem e fabricação digitais foi o exercício prático-teórico desta pesquisa, conforme apresentado no capítulo dois. Foi dado o enfoque ao ensino dessas técnicas projetuais de modo a compilar dados que possam ser aproveitados pelas faculdades de arquitetura, design e engenharias do país. As técnicas de parametrização são amplamente abordadas nos currículos de faculdades do ambiente construído internacionais, porém ainda pouco exploradas em solo nacional. Busca-se um entendimento das características, vantagens, desvantagens e aplicações possíveis dessas tecnologias digitais na arquitetura através de feedback dos alunos deste workshop.

A busca na natureza por ideias, conceitos, inspiração e modelos por profissionais dos campos da criatividade se dão há muito tempo. Mais recentemente na história, arquitetos como Antoni Gaudí e Frei Otto são exemplos dessa arquitetura Bio-inspirada. Gaudí se baseava em padrões de crescimento encontrado em plantas, estruturas ósseas animais e fractais com padrões biológicos enquanto que Otto desenvolvia suas estruturas geodésicas baseando-se em geometrias celulares, bioquímica e otimização de estruturas e superfícies mínimas, conforme a organização das bolhas de sabão. A grande vantagem que a arquitetura possui atualmente são as tecnologias digitais. Enquanto Gaudí e Otto desenvolviam suas arquiteturas bio-inspiradas através de modelos paramétricos físicos, como o modelo das correntes penduradas do Gaudí<sup>4</sup>, as atuais tecnologias digitais de modelagem e fabricação proporcionam grande potencial de exploração para os arquitetos.

Este WKSP BIO-PARA<sup>5</sup> entra justamente nesse encontro das novas tecnologias digitais com o campo da biologia. Busca-se ensinar aos participantes técnicas de abstração, analogia e mimetismo biológico para aplicação em problemas arquitetônicos. Trata-se de um workshop de cunho exploratório, isto é, não se busca solucionar uma estrutura específica e sim explorar potenciais biológicos e suas possíveis ramificações no campo da arquitetura.

Para isso, foi abordado modelagem em software NURBS juntamente com modelagem paramétrica de programação visual (Rhinceros 3D + Grasshopper). Era ideal que os participantes deste workshop tivessem conhecimento prévio em modelagem 3D pois, em se tratando de um exercício imersivo, o foco do trabalho será todo destinado às novas ferramentas digitais e a exploração em arquitetura bio-inspirada.

## 4.2 EXPERIMENTO PRÁTICO-TEÓRICO

Projetar [*design* foi a palavra empregada] [...] é sobre virtualidade, não realidade. Em sua concepção é sobre algo vago, indefinido e incerto; não necessariamente o repentino surgimento de uma forma, mas sim uma combinação de pensamentos e esforços que

---

4 Antoni Gaudí (1852-1926) desenvolvia seus modelos paramétricos físicos através de estruturas de correntes e pesos penduradas. O arquiteto então desenhava a estrutura de suas edificações à partir da observação destes modelos.

5 WKSP BIO-PARA foi o título do workshop utilizado no panfleto do evento divulgado nas mídias sociais.

exploram possibilidades de emergência existencial (TERZIDIS, K. 2006, p. 40, Tradução nossa).

O ato de projetar é a base da prática arquitetônica. Segundo Terzidis (2006), trata-se de um processo retroalimentado, ou seja, à medida que se desenvolve, novas problemáticas surgem enquanto outras são solucionadas. É um exercício mental complexo que exige do arquiteto, assim como de um artista, “criatividade, inteligência e intuição” ao mesmo tempo que provoca características humanas como “emoção, humor, alegoria, metáfora ou analogia” (TERZIDIS, K. 2006, p. 50, Tradução nossa).

[...] o uso de programas computacionais não é obrigatoriamente um projeto digital. Digital, no real sentido da palavra, é sobre a redução de um processo em padrões discretos e as articulações desses padrões em novas entidades a serem usadas pelo computador. Digital é um esforço das propriedades de coletivo organizacional dos computadores e não a intrínseca natureza da aparência de seus produtos. Em outras palavras, **digital é um processo não um produto** (TERZIDIS, K. 2006, p. 39, Tradução e grifo nossa).

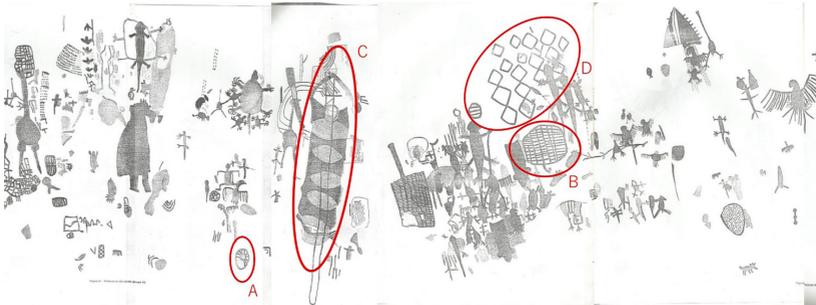
A aplicação prático-teórico desta dissertação foi realizada na forma de workshop de ensino. Para a elaboração do exercício apresentado aos alunos participantes, foi realizado um estudo prévio da aplicação das técnicas paramétricas e bio-inspiradas. Este estudo consistiu na elaboração de um modelo algoritmo através dos programas *Rhinoceros 3D 6.0* e *Grasshopper*, que realizava quinze interações de uma forma geométrica planificada de modo a transformá-la em uma estrutura arquitetônica.

Metodologicamente, esse modelo de algoritmo se baseou, considerando a arquitetura dos ancestrais baseada na relação homem/natureza, buscou-se na arte rupestre<sup>6</sup> (Figura 17) elementos morfológicos desta relação para a criação do exercício de abstração da forma. O protótipo resultante deste estudo se constituiu em material didático apresentado aos alunos durante o workshop (Figuras 18 e 19).

---

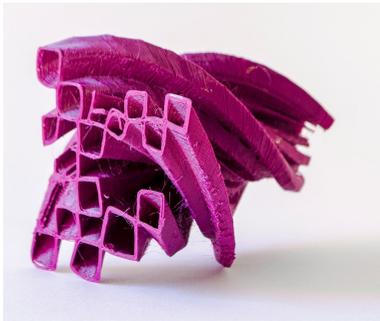
<sup>6</sup> Arte rupestre dos sítios arqueológicos do município de Serranópolis, Goiás.

Figura 17: Painel rupestre montado a partir de pinturas descobertas no sudoeste do estado de Goiás, datado de cerca de 11.000 anos a.P. Destaque para as ilustrações vetorizadas referenciadas no sistema generativo.



Fonte: Museu Histórico de Jataí. Adaptado.

Figuras 18 e 19: Protótipos desenvolvidos como estudo para a elaboração do exercício do workshop.



Fonte: Acervo pessoal.

A tecnologia de fabricação escolhida para os protótipos foi a manufatura aditiva, também conhecida como tecnologia de impressão 3D, com a técnica FDM (*Filament Deposition Modelling*); devido à fidelidade dos protótipos com relação aos modelos tridimensionais. Esta pesquisa foi realizada no Laboratório de Prototipagem e Novas Tecnologias Orientadas (PRONTO 3D), desta Universidade.

O workshop BIO-PARA foi planejado em 4 períodos de 4 horas cada, ao longo de dois dias, conforme apresentado no apêndice I, repetido em duas edições (junho e setembro). Durante essas 16 horas os alunos desenvolveram exercícios, abstraindo informações geométricas de plantas de pequeno porte, ex.: cactos e suculentas, isso porque são de fácil trans-

porte e puderam ser observadas de perto pelos alunos durante a elaboração dos exercícios em laboratório. Após introdução do tema do workshop e da proposta, os alunos modelarão padrões de crescimento, características formais e geometrias complexas encontradas nos exemplares apresentados.

No primeiro período foi apresentada uma aula expositiva com introdução ao tema e as tecnologias que foram abordadas ao longo do workshop. O conteúdo programático trabalhado nesta etapa consiste da apresentação das temáticas paramétricas e bio-inspiradas. Foi apresentado aos alunos conceitos de algoritmo, programação visual e sistemas generativos, bem como, a interface dos softwares utilizados.

No segundo período foi introduzido o exercício de exploração formal das estruturas biológicas encontradas nas plantas. Através de croquis feitos a mão, os alunos puderam abstrair características pertinentes para posteriormente desenvolver em o modelo paramétrico em *software*.

No segundo dia de trabalho, o foco foi o aperfeiçoamento dos modelos desenvolvidos pelos alunos. Foi analisado por eles as características como otimização de estrutura, quantidade material utilizados e a gravidade atuante nas peças, alcançando-se ao fim da manhã, modelos “.stl”<sup>7</sup> prontos para a prototipagem em impressoras 3D com tecnologia FDM. O quarto período do workshop foi voltado para a prototipagem de alguns dos modelos desenvolvidos em sala pelos alunos. Ao final do exercício foi observada uma compreensão das características da modelagem paramétrica e suas vantagens e desvantagens e possíveis aplicações projetuais.

A modelagem paramétrica possibilita um grande entendimento por parte do projetista do objeto (ou família de objetos) que está desenvolvendo devido a descrição em algoritmo. Arquitetos encontram satisfação em descrever os pequenos detalhes do projeto que estão solucionando de forma paramétrica e essa característica pode ser muito aproveitada por alunos que apresentem grande interesse no campo de projeto arquitetônico.

Após as 16 horas de trabalho, os alunos responderam um questionário online (APÊNDICE II) sobre a experiência com arquitetura Bio-inspirada e parametrização que foi compilado e aplicado na pesquisa de Dissertação de Mestrado, de modo a analisar o nível de aprendizado dos participantes.

O propósito deste workshop de cunho exploratório foi o de ampliar o campo de repertório projetual dos futuros arquitetos, de modo que consigam explorar projetos e trabalhos e que percebam que na natureza existem infinitas fontes de inspiração para os problemas da arquitetura contemporânea.

---

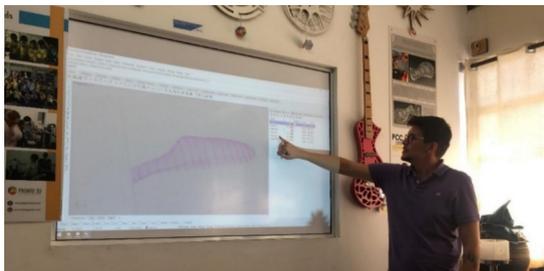
7 stl é o formato stereolithography utilizado na impressão 3D.

### 4.3 O RESULTADO DO WORKSHOP

O primeiro Workshop de arquitetura bio-inspirada intermediada por tecnologias paramétricas de modelagem e fabricação digitais, realizado em duas edições, aconteceu no Laboratório de Prototipagem e Novas Tecnologias Orientadas ao 3D, PRONTO 3D, na Universidade Federal de Santa Catarina, campus Florianópolis. Com um total de sete (7) participantes, sendo cinco arquitetos formados e dois alunos de graduação, a segunda edição contou com seis (6) participantes sendo 5 arquitetos formados e um aluno da graduação, todos com pouco ou nenhum conhecimento prévio nos assuntos abordados<sup>8</sup>. A proposta de trabalho girou em torno de uma aula introdutória sobre o tema da arquitetura bio-inspirada e parametrização com foco nos *softwares* de modelagem 3D *Rhinoceros 6.0 + Grasshopper*.

No decorrer do primeiro período de atividades de cada edição, os alunos foram apresentados a ferramentas de modelagem NURBS de curvas e superfícies dentro do software *Rhinoceros 6.0*, familiarizando-os com comandos básicos de modelagem (Figura 20). Essa apresentação se mostrou bastante proveitosa pois eles foram capazes de aplicar comandos similares na modelagem paramétrica no *software* de programação visual *Grasshopper*. Essa ligação entre comandos serviu para desmistificar a programação visual como algo fora da capacidade do entendimento dos participantes, reação comumente apresentada em alunos tendo primeiro contato com a modelagem paramétrica.

Figura 20: Apresentação de comandos no software Rhinoceros 6.0 em Datashow.

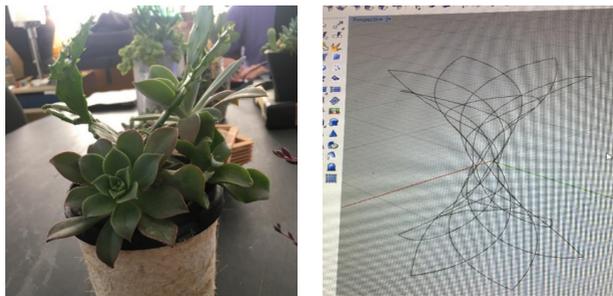


Fonte: Acervo do autor.

---

<sup>8</sup> Por se tratar de um workshop inicial dos assuntos da parametrização e da arquitetura bio-inspirada, buscou-se participantes que não realizavam pesquisa no assunto ou que possuíam pouco entendimento dos softwares apresentados. Dessa forma pudemos montar um grupo homogêneo para testar o exercício.

Figuras 21 e 22: Exemplo de plantas analisadas pelos participantes e modelo paramétrico tomando forma durante a aula de apresentação (descrição de curvas geratrizes).



Fonte: Acervo do autor.

O método de ensino abordado envolveu apresentação dos comandos em ambos os *softwares* através de tela compartilhada. Os alunos então repetiam os comandos em seus computadores, desenvolvendo seus próprios modelos. No começo do segundo período de atividades, depois de apresentação das interfaces e comandos básicos<sup>9</sup> em ambos os *softwares*, os alunos deram início ao exercício bio-inspirado. A atividade envolvia a análise de diferentes espécies de plantas de cactos e suculentas, através de croquis os alunos foram orientados a extrair elementos geométricos e desenvolver desenhos de analogia e observação (Figuras 21 e 22). Após essa etapa, cada aluno estava analisando uma diferente espécie, diferentes características. Ao final desta primeira parte do exercício de análise da morfologia vegetal, os alunos foram incentivados a determinar parâmetros matemáticos que traduzissem os croquis executados (ex.: ângulo de rotação de folhas, proporção de partes e do todo, trigonometria base da origem da forma – círculo, elipses, triângulos).

O exercício proposto aos alunos (Figuras 23 e 24) envolvia a abstração da forma, isto é, era esperado um modelo paramétrico que interpretasse certas características morfológicas da espécie selecionada, porém, não era incentivado que o modelo fosse uma representação de certa forma fiel da planta. Esta abordagem se mostrou difícil para alguns dos participantes. A complexidade do software paramétrico ensinado se mostrou

---

<sup>9</sup> Alguns comandos gerais entendidos como essenciais para o desenvolvimento da atividade foram estipulados e ensinados aos alunos tanto para o Rhinoceros quanto para Grasshopper. Comandos como copy, move, trim, mirror, comandos de geração de curvas e superfícies, entre outros.

mais trabalhosa para certos alunos que apresentavam uma base teórica de modelagem e de conhecimentos de geometria descritiva menor do que o necessário. Isso mostrou que um pré-requisito de conhecimentos em programas computacionais se fez importante para um maior aproveitamento da atividade orientada neste workshop.

A atividade resultou apenas com dois participantes da primeira edição do workshop conseguindo programar uma forma bio-inspirada abstraída das espécies, enquanto que os demais programaram geometrias muito similares às espécies observadas, como folhas e plantas. Para reduzir esse risco de falha de leitura, a segunda edição foi instruída a aplicar o exercício de abstração formal aplicada a uma superfície, como uma parede, o que facilitou o entendimento dos alunos acerca do que era requerido na atividade. Neste caso, a abstração se deu na forma da aplicação de motivos geométricos e seus arranjos na elaboração de uma parede portante modular. A parametrização do sistema ficou responsável pelas definições métricas do tamanho das células, da quantidade de repetições e da escala de seu tamanho.

Figuras 23 e 24: Início do exercício de abstração e parametrização de diferentes morfologias vegetais em software paramétrico realizado nas duas edições.

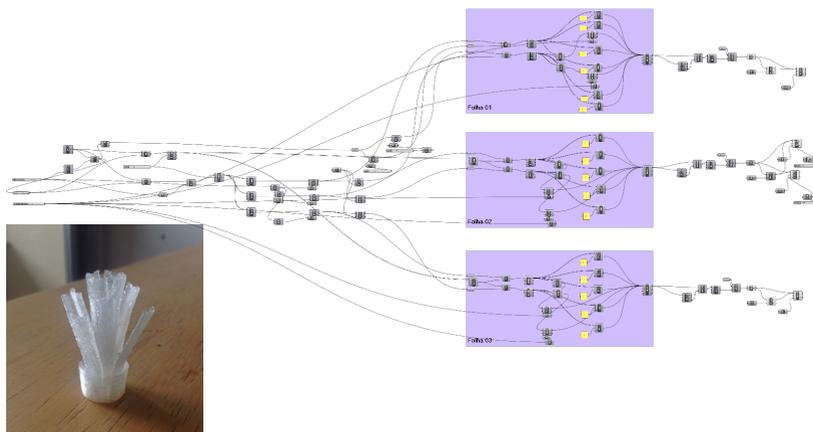


Fonte: Acervo do autor.

O foco do segundo dia do WORKSHOP era a conclusão dos modelos paramétricos bio-inspirados, ajustes dos parâmetros e fechamento de arquivos para prototipagem em tecnologia FDM (*Fillament deposition modelling*) em impressoras 3D. Esta parte da atividade atrai bastante o interesse dos participantes principalmente pelo fato de entrarem em contato com a tecnologia de impressão 3D, nova para muitos, e a concretização do exercício da programação visual através da impressão dos protótipos. Ao término do workshop foi impresso um modelo realizado por um dos alunos como teste (Figuras 25 e 26) e todos os alunos conseguiram con-

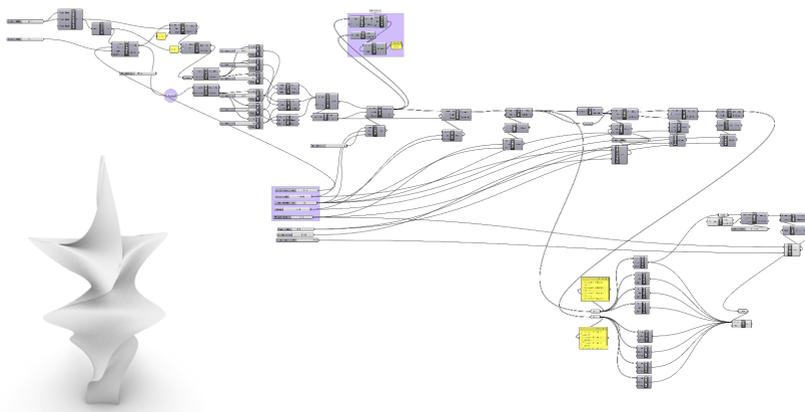
cluír seus modelos paramétricos e salvaram arquivo “.stl” para fabricação (Figuras 27 a 30). Os participantes foram convidados a voltar ao laboratório em outro horário caso tenham interesse em ver seus protótipos fabricados.

Figuras 25 e 26: Modelo paramétrico desenvolvido pelo aluno descrevendo a morfologia vegetal e protótipo 3D executado durante a primeira edição do WKSP, no PRONTO 3D.



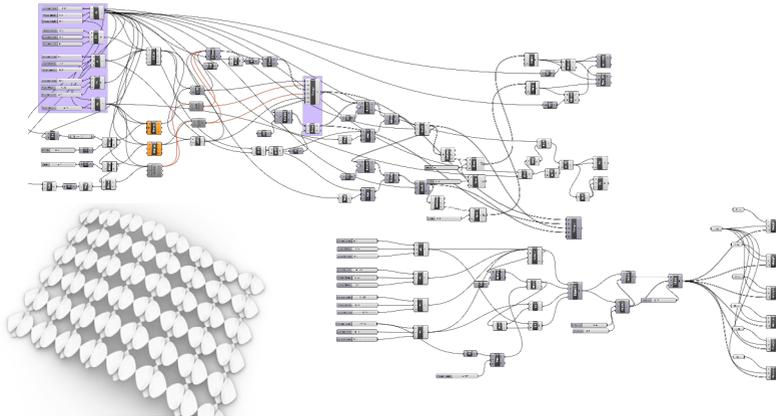
Fonte: Acervo do autor.

Figura 27 e 28: Modelo paramétrico desenvolvido pelo aluno da primeira edição descrevendo a morfologia vegetal e modelo 3D resultante.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 29 e 30: Modelo paramétrico desenvolvido pelo aluno da segunda edição como elemento de parede.



Fonte: Acervo do autor.

#### 4.4 A PERCEPÇÃO DO WORKSHOP COMO FERRAMENTA DE APRENDIZADO: ANÁLISE DE DADOS

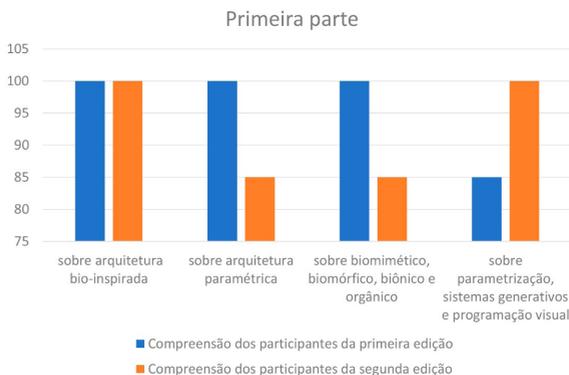
Ao final do segundo dia de cada edição do WORKSHOP foi aplicado questionário digital aos participantes, conforme citado no capítulo da metodologia. Os dados compilados ao longo das duas edições foram de suma importância para determinar o impacto do exercício e das aplicações práticas da teoria paramétrica e bio-inspirada em projeto, com total de 12 questionários avaliados. As questões abordadas foram divididas em três temas: primeiro referente ao entendimento do tema da pesquisa, termos, ferramentas e processos; segundo referente ao entendimento acerca das técnicas de analogia, biomimética, abstração e as ferramentas digitais paramétricas; e por fim sobre a atividade proposta de analogia e morfologia vegetal e a tradução da forma em modelo paramétrico. A seguir são apresentados os resultados do questionário aplicado.

##### 4.4.1 Primeira parte: entendimento acerca do tema de pesquisas, termos, ferramentas e processos

De acordo com os dados obtidos, 100% dos participantes em ambas as edições consideraram que seu entendimento sobre o que é arquitetura bio-inspirada e paramétrica alterou-se muito após o workshop. Sobre o conhecimento obtido acerca do termo arquitetura paramétrica, 100%

(primeira edição) e 85% (segunda edição) dos alunos afirmaram terem seu conhecimento muito alterado. Da mesma maneira, 100 % consideraram ter alterado muito seu conhecimento sobre os termos biomimético, biomórfico, biônico e orgânico referentes à primeira edição, em quanto que na segunda edição do workshop, apenas 85% concordaram com tal afirmação. Quanto aos termos parametrização, sistemas generativos e programação visual, 85 % consideraram que seu conhecimento se alterou e 15 % já possuía conhecimento prévio no assunto e não considerou ter aprendido algo novo enquanto que 100% dos participantes da segunda edição consideram alterado (Figura 31).

Figura 31: Gráfico resultados primeira parte.



Fonte: Elaboração própria.

#### 4.4.2 Segunda parte: entendimento acerca das técnicas de analogia, biomimética, abstração e as ferramentas digitais paramétricas

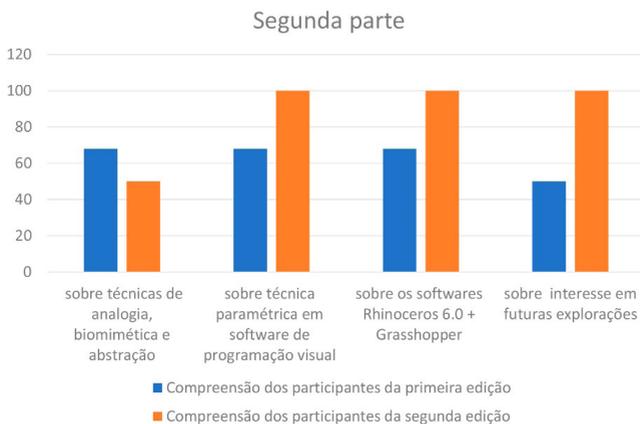
Ao final das atividades, sobre o entendimento das técnicas de analogia, biomimética e abstração e seu papel na etapa conceitual de projeto, 68% dos alunos da primeira edição consideraram que sua compreensão se alterou muito, enquanto que 16% não houve grandes alterações. A segunda edição do workshop apresentou que 50% dos participantes não notaram grandes alterações.

Quanto a compreensão da técnica paramétrica apresentada em forma de programação visual e seu papel no processo de projeto, referente à primeira edição, 68% consideraram que sua compreensão se alterou muito, enquanto que 16% não aprenderam algo novo e 16% responderam a opção “outros”. Já na segunda edição, 100% notaram demasiada altera-

ção da compreensão sobre esses temas. No quesito ao pacote de programas abordado nesta pesquisa, dos alunos da primeira edição, 68% consideraram grande alteração de compreensão devido a pouco conhecimento prévio no pacote de softwares *Rhinoceros 6.0 + Grasshopper* trabalhados. Os demais 32% marcaram a opção “outros” sobre entendimento dos softwares. 100% dos participantes da segunda edição, porém, afirmaram grandes alterações de compreensão no quesito *softwares*.

O interesse dos participantes por futuras explorações nos softwares apresentados também foi tratado no questionário aplicado. Na primeira edição, 50% responderam que veem aplicações futuras em suas profissões, 34% não veem aplicações futuras e 16% outros enquanto que na segunda edição, 100% dos participantes viram seu interesse sobre os softwares abordados crescerem e veem aplicações futuras em suas profissões (Figura 32).

Figura 32: Gráfico de resultados segunda parte.



Fonte: Elaboração própria.

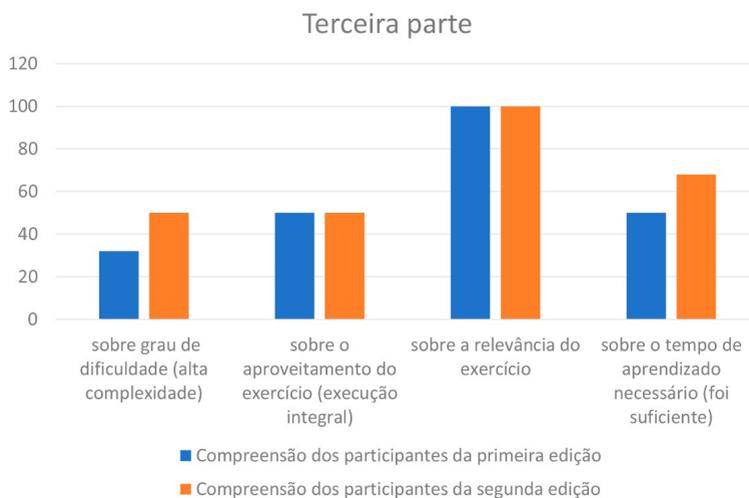
#### 4.4.3 Terceira parte: sobre o exercício de analogia e abstração da morfologia vegetal e tradução da forma em modelo paramétrico

O terceira e última parte do questionário aplicado com os participantes deste trabalho prático diz respeito ao exercício de analogia e abstração da morfologia vegetal e a tradução da forma em modelo paramétrico. Sobre o grau de dificuldade, 68% dos respondentes concordaram que o exercício apresentou nível médio de complexidade, enquanto que 32% consideraram o nível de complexidade alto, isso na primeira edição.

Na segunda, 50% consideraram o exercício de média complexidade e os outros 50% alta complexidade.

Referente nível de aproveitamento do exercício proposto, 32% apresentaram uma execução parcial da atividade, 50% executaram integralmente o exercício e 18% consideraram execução integral, porém com ressalvas, durante a primeira edição da atividade. Na segunda edição ficou constatado que 50% de execução integral do exercício também foi alcançado pelos participantes, restando 32% de execução integral com ressalvas e 18% de execução parcial. O exercício de analogia e abstração da morfologia vegetal e tradução da forma em modelo paramétrico e seu papel na etapa de geração de ideias de projeto foi considerado por 100% dos participantes como sendo muito relevante e tendo a busca por conceitos projetuais na natureza como altamente aplicável na arquitetura. Este resultado foi observado em ambas as edições do workshop. Cada edição deste trabalho totalizou uma dedicação de 16 horas ao longo de dois dias de trabalho por parte dos alunos e, segundo os participantes da primeira edição, 50% julgaram que o tempo fora curto para o aprendizado das novas ferramentas apresentadas enquanto que os restantes 50% afirmaram ter sido tempo suficiente. Na segunda edição essa medida foi para 67% dos participantes afirmaram ter sido suficiente o tempo de atividades enquanto que 33% julgaram o tempo como sendo insuficiente (Figura 33).

Figura 33: Gráfico de resultados terceira parte.



Fonte: Elaboração própria.

## 4.5 DISCUSSÃO DO EXERCÍCIO PRÁTICO

A partir da análise dos questionários, considera-se que o foco do workshop foi o de introduzir o processo de projeto bio-inspirado dentro da plataforma paramétrica. Os alunos não apresentavam conhecimento prévio com a modelagem paramétrica, porém, como arquitetos ou graduandos de fases avançadas, os alunos possuíam conhecimento em geometria descritiva, modelagem 3d e softwares CAD. Por se tratar de um exercício de nível avançado houve a demanda de alunos com conhecimentos em aplicações computacionais de projeto. A primeira turma foi formada por seis alunos a nível de pós-graduação, todos egressos de faculdades públicas enquanto que a segunda turma, também composta por seis alunos, vindo de faculdade particular.

O foco da atividade era a abstração de elementos formais da composição das plantas apresentadas e tradução desses aspectos para o programa paramétrico através da descrição do algoritmo. Cada aluno desenvolveu uma programação referente à uma espécie de cacto ou suculenta sendo que os alunos da primeira edição não receberam sugestão de aplicação como foi sugerida na segunda edição, logo, os modelos se diferem razoavelmente tanto em forma quanto em função e houve exemplos de descrição literal da morfologia das espécies, apresentando dificuldades no processo de abstração.

O tempo despendido para as explicações introdutórias das ferramentas paramétricas, o método da programação visual e a linguagem nova de projeto se mostrou insuficiente para muitos dos participantes. Essa abordagem será revista em futuros trabalhos de modo a aumentar a compreensão dos alunos dessa nova linguagem projetual. Para tal, mais tempo deverá ser destinado ao ensino e apresentação de comandos e das ferramentas computacionais de modo a ampliar o conhecimento geral dos *softwares*.

O Workshop de arquitetura bio-inspirada intermediada por tecnologias paramétricas de modelagem e fabricação digitais, em suas duas edições, foi proposto na orientação da banca de qualificação desta pesquisa de dissertação de Mestrado. Foi levantado pelos professores de que a pesquisa teórica, sua aplicação e funcionalidade deveria ser apresentada e analisada para profissionais de arquitetura e alunos da graduação da UFSC. Essa experiência de ensino se mostrou promissora como tarefa educacional para apresentar o conhecimento teórico abordado nesta pesquisa. A aceitação das ferramentas digitais, tecnologias de fabricação e modelagem paramétricas bem como arquitetura bio-inspirada se mostrou alta dentre os participantes do workshop, exemplificando a importância e relevância do tema desta pesquisa.

## 5 CONCLUSÃO

O século XX foi crucial na jornada arquitetônica brasileira. Nossas edificações modernistas ganharam espaço nos canteiros de obra da nova capital no planalto central bem como em diversos outros países do mundo. Arquitetos como Oscar Niemeyer, Paulo Mendes da Rocha, Lina Bo Bardi, João Figueiras Lima (Lelé), entre outros, alteraram definitivamente nossas paisagens urbanas através de linhas retas, vãos livres e balanços extraordinários. A linguagem modernista seguiu sendo ensinada nas faculdades de arquitetura e formou-se uma geração de profissionais que erguiam formas semelhantes e soluções familiares. Essa postura atrelada à uma grande resistência por parte da academia brasileira de acomodar o discurso pós-moderno, especialmente àquelas arquiteturas “*bloob*” que estavam sendo geradas através das novas tecnologias digitais, fez com que a arquitetura brasileira segue fortemente modernista, mesmo quando o mundo caminhava em direções opostas.

Durante a segunda metade do século XX, como apresentado no capítulo três, o computador evoluiu como uma ferramenta indispensável em diversos campos do conhecimento humano. Aplicado nas engenharias e depois no campo da arquitetura, o computador foi utilizado por um longo tempo como uma prancheta digital, facilitando o trabalho do desenhista técnico. À medida que esta tecnologia foi evoluindo, seu papel foi aprofundando e suas capacidades de processamento foram melhores aproveitadas pelos projetistas alcançando o que hoje conhecemos como modelagem paramétrica, transformando o papel do computador no processo de projeto. Um exemplo dessa aplicação é a parametrização e a fabricação digital.

Esta dissertação se baseou na pesquisa de autores do campo da parametrização e das tecnologias digitais, como: Celani (2018), Davis (2013), Leach (2014) e Terzidis (2006). No campo da arquitetura bio-inspirada, este estudo foi fortemente amparado pelas pesquisas de Costa (2009), Dollens (2009), Estévez (2005) e Wilson (2008).

A presente pesquisa apresentou e analisou o papel da biologia atrelado às novas tecnologias digitais quando abordada no âmbito da arquitetura através da chamada arquitetura Bio-inspirada. Foi demonstrado ao longo desse trabalho, em especial no capítulo terceiro, que o uso da natureza como fonte de ideias apresenta um caminho promissor para o ambiente construído, capaz de alcançar medidas inovadoras e tecnológicas, bem como, soluções mais adequadas às situações climáticas atuais e as características ambientais. A aplicação da arquitetura bio-inspirada se mostra, cada vez mais, como uma viável aplicação para nossas futuras

idades, medidas que melhor se adequam às nossas atuais condicionantes ambientais e nossas demandas energéticas.

A partir da pesquisa bibliográfica, foi possível compreender a relação da parametrização e da arquitetura bio-inspirada, no âmbito das tecnologias digitais. Foi analisado também as contribuições da arquitetura paramétrica e bio-inspirada no processo projetual; as vantagens de se estudar e analisar o ambiente natural na busca por *insights* projetuais. A vasta gama de possibilidades quando o assunto é a biologia aplicado à arquitetura foi apresentado analisando e exemplificando os diferentes tipos de arquitetura bio-inspirada, tais quais: arquitetura biomórfica, biônica, orgânica, o organicismo digital, a arquitetura genética, bem como, a biológica conforme apresentado por Estévez (2005), abordado nesta dissertação no capítulo três.

A arquitetura bio-inspirada, como se viu, teve início com nossos ancestrais, através da formação de cabanas e refúgios primitivos que se valiam da natureza como única fonte de inspiração e de matéria-prima. Essas cabanas primordiais eram confeccionadas com galhos, folhas, ossos e folhagens e apresentavam quase sempre o formato de um ninho, um refúgio gerado a partir do corpo daquele que seria protegido. O atual desenvolvimento tecnológico de softwares e máquinas de fabricação digitais proporcionaram que esta abordagem bio-inspirada fosse revisitada pelos arquitetos. Isso porque as formas orgânicas, o rebuscamento de detalhes e o pensamento de estruturas complexas eram inviáveis de serem realizadas sem o auxílio da capacidade de processamento dos computadores.

Outro grande importante fator que fez com que a arquitetura bio-inspirada fosse retomada a partir dos recentes desenvolvimentos tecnológicos se dá a partir da experimentação. A modelagem paramétrica atrelada à fabricação digital, possibilitou uma maior agilidade de experimentação por parte do projetista, com tempo reduzido de adaptação da modelagem, graças a agilidade proporcionada pelo modelo paramétrico, bem como uma maior rapidez na prototipagem através da impressão 3D. Essa facilidade de testes, através da confecção de protótipos e modelos, propiciou uma maior exploração formal de elementos estruturas, de tipologias de fachadas e de organização espacial.

Essa exploração da relação entre as possibilidades das ferramentas digitais e a pesquisa da arquitetura bio-inspirada foi implementada na forma de um workshop prático, realizado em duas diferentes turmas de alunos. A experiência dos workshops, realizado no laboratório PRONTO 3D (UFSC), conforme apresentado no capítulo quatro, se mostrou extremamente válida. Através da elaboração do exercício paramétrico e da fabricação digital de protótipos, os alunos puderam explorar vertentes

biológicas em estruturas arquitetônicas, através da observação, abstração e analogia dos elementos. Este workshop apresentou o foco na análise da morfologia vegetal de plantas e da abstração geométrica aplicada à arquitetura. Na primeira turma o exercício de abstração e aplicação dos elementos bio-inspirados não foi previamente estabelecido, deixando livre a aplicação final para cada aluno participante. Neste, obteve-se a criação de objetos como luminárias e coberturas em casca, sempre descritas na forma de algoritmo no software paramétrico, segundo a morfologia vegetal observada. Esses alunos conseguiram alcançar o nível de abstração desejada; o de aplicar os elementos biológicos observados de modo a chegar em uma solução arquitetônica que se diferia da espécie vegetal analisada. Nem todos os participantes tiveram esse resultado, para alguns, a abstração da geometria da planta para algo arquitetônico não veio, resultado em modelos paramétricos da própria planta. Já na segunda edição, a aplicação prática foi previamente delimitada para a turma, reduzindo o risco dos alunos de modelarem elementos muito próximos da própria planta estudada. O exercício se ateve a uma parede modular, onde o elemento repetido originou-se da observação dos elementos vegetais.

Notou-se que a primeira turma do workshop apresentou resultados mais próximos das morfologias vegetais exploradas, isto é, a capacidade de abstração dos alunos não foi tão acentuada, uma vez que, alguns dos resultados eram plantas ou folhas parametrizadas. A segunda turma, por outro lado, foi orientada a aplicar o exercício à uma parede modular, isto é, cada aluno deveria abstrair a morfologia vegetal de forma a chegar à composição de um módulo que deveria ser repetido em forma de arranjo de modo a se formar uma parede. O resultado aqui obtido foi que a turma conseguiu alcançar um maior nível de abstração da morfologia vegetal, principalmente pela confecção modular da parede, isto porque, a geometria final se difere bastante das plantas analisadas. Notou-se que, a primeira turma apresentou maior facilidade com a linguagem digital paramétrica e dos comandos propostos para o exercício, porém maior dificuldade com a abstração da geometria vegetal. A segunda turma, porém, viu maiores dificuldades na linguagem do software, porém alcançaram maior nível de abstração formal.

A flexibilidade dos modelos paramétricos através da manipulação dos parâmetros, se mostrou útil durante a elaboração dos modelos dos alunos. Ao longo dos dois dias de workshop, os participantes puderam explorar diversas configurações dos elementos que estavam sendo trabalhados, garantindo um maior entendimento do objeto arquitetônico modelado e propiciando um resultado complexo e mais embasado, dado à exploração das variáveis. Outro importante elemento dos modelos pa-

ramétricos foi o da troca de modelos, entre alunos e entre aluno e instrutor. A facilidade de se manipular o modelo paramétrico desenvolvido por outro projetista garantiu uma troca de experiência ao longo do exercício e possibilitou que, sempre que necessário, uma ajuda na elaboração dos caminhos percorridos pelas baterias de modo a otimizar os modelos fosse almejada através da ajuda do instrutor e de alunos que apresentavam maior compreensão do software paramétrico. Essa permuta dos modelos paramétricos, capazes de serem alterados e adaptados, projetos desenvolvidos em plataformas digitais, podendo ser trabalhados por diferentes profissionais, explorados em diferentes escalas e fabricados em variadas maneiras, foram analisados ao longo de quatro capítulos e validados nas duas edições do workshop desta pesquisa conforme apresentado por Davis (2013), visto no capítulo três.

A experiência didática proporcionada por esta pesquisa foi importante para salientar as vantagens e desvantagens do processo paramétrico e bio-inspirados aplicados ao projeto de arquitetura, bem como, o de mostrar possíveis caminhos para o ensino dessas novas tecnologias aos projetistas em formação. O ensino das tecnologias digitais no âmbito das faculdades de arquitetura brasileiras não tem tido a devida importância, visto que existem poucas referências deste tipo de pesquisa na língua portuguesa, principalmente quando comparada à língua inglesa. Isto em grande se difere das faculdades no exterior, como na América do Norte, Europa, Ásia e Oceania, onde o ensino das técnicas digitais de parametrização e fabricação estão fortemente presentes nos currículos das faculdades de arquitetura. Existe ainda programas de pós-graduação inteiramente voltados pro ensino da arquitetura bio-inspirada, ou biodigital, como o programa da *Universitat Internacional de Catalunya*, que atua desde a década de 2000 na formação de profissionais voltados pro campo da biologia e da tecnologia aplicados à arquitetura.

O papel da universidade é trabalhar na fronteira do conhecimento, e o futuro é digital e tecnológico. A relevância desta pesquisa se encontra justamente neste âmbito da aplicação das tecnologias digitais nas diferentes etapas projetuais, logo, as faculdades brasileiras precisam incorporar em seus currículos o ensino das tecnologias digitais de modo a preparar seus profissionais para o futuro do ambiente construído. 2e

Esta pesquisa pode ser aprofundada futuramente ampliando as possíveis análises e aplicações das tecnologias paramétricas e da arquitetura bio-inspirada em diferentes áreas do conhecimento arquitetônico, como por exemplo, disciplinas de cunho estrutural ou conforto ambiental e testando-se as melhores maneiras de se ensinar e abordar tais temas em sala de aula.

## 6 REFERÊNCIAS

BHOOSHAN, Shajey. Upgrading computational design. **Revista AD**. Volume 86, Issue 2. March/April. p.44-53. 2016. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ad.2016.86.issue-2/issuetoc>> Acesso em: 07 nov. 2016.

BOUMAN, Ole. Amor(f)al architecture. In: LYNN, Greg. **Folds, Bodies & Blobs. Collected essays**. Coleção Books-by-Architects. La Lettre Volée. 2ª edição. 2004. p. 7 a 14.

BURRY, Mark. Essential precursors to the parametricism manifesto. Antoni Gaudí and Frei Otto. **Revista AD**. Volume 86, Issue 2. March/April. 2016. p.30-35. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ad.2016.86.issue-2/issuetoc>> Acesso em: 07 nov. 2016.

CARPO, Mario. Parametric notations. The birth of the non-standard. **Revista AD**. Volume 86, Issue 2. March/April. p.24-29. 2016. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ad.2016.86.issue-2/issuetoc>> Acesso em: 07 nov. 2016.

CELANI, Gabriela. Sistemas generativos de projeto: classificação e reflexão sob o ponto de vista da representação e dos meios de produção. 11/2013, **Revista Brasileira de Expressão Gráfica**. Vol. 1, pp.1-1, São Paulo, SP, Brasil, 2013. Disponível em: <<http://rbeg.net/artigos/artigo2.pdf>>. Acesso em: 6 out. 2016.

CELANI, Gabriela. Uma nova era para a arquitetura. In: CELANI, M. G.C.; SEDREZ, M. (Organizadores). *Arquitetura contemporânea e automação: prática e reflexão*. São Paulo: ProBooks, 2018. p. 17 a 20.

CELANI, VAZ E PUPO, (2013). Sistemas Generativos de Projeto: Classificação e Reflexão sob o ponto de vista da representação e dos meios de produção. **Revista Brasileira de Expressão Gráfica**. Vol. 1, N°. 1.

DAVIS, Daniel. **Modelled on software engineering: flexible parametric models in the practice of architecture**. Tese de Doutorado. RMIT University. 2013.

DOLLENS, Dennis. Architecture as nature:a biodigital hypothesis. **Leonardo**, Vol. 42, No. 5, p. 412-420. 2009.

ESTÉVEZ, Alberto T. Biomorphic architecture. First history of genetic architecture or, is genetic architecture biomorphic? In: \_\_\_\_. **Genetic architectures II: digital tools & organic forms**. SITES Books. ESARQ, Barcelona. 2005.

ESTÉVEZ, Alberto T. Towards genetic posthuman frontiers in architecture & design. **ACADIA**. p. 450-459. 2016.

GIL, Antônio Carlos, 1946- **Como elaborar projetos de pesquisa**/Antônio Carlos Gil. - 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002

LEACH, Neil. Parametrics explained. **Next generation building**. Vol. 1, No. 1. 2014.

LIMA, Daniel Lenz Costa. Projeto baseado em desempenho: arquitetura performativa. In: CELANI, M.G.C.; SEDREZ, M. (Org.). **Arquitetura contemporânea e automação: prática e reflexão**. São Paulo: ProBooks, 2018. p. 17 a 20.

LYNN, Greg. **Folds, bodies & blobs. Collected essays**. 2 ed. Coleção Books-by-Architects. La Lettre Volée. 2004.

MIRANDA, Marília Gouvea de & RESENDE, Anita C. Azevedo. Sobre a pesquisa-ação na educação e as armadilhas do praticismo. **Revista Brasileira de Educação**. Volume 11, n 33. set./dez. 2006.

PEREZ, Santiago R. The synthetic sublime. Notes on physical/digital space and form. **ACADIA: Surface and form generation**. 2009.

SCHUMACHER, Patrik. Advancing social functionality Via Agent-Based Parametric Semiology. **Revista AD**. Volume 86, Issue 2. March/April. p.108-113, 2016. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ad.2016.86.issue-2/issuetoc>> Acesso em: 07 nov. 2016.

SEDREZ, Maycon. Complexidade e arquitetura. In: CELANI, M.G.C.; SEDREZ, M. (Org.). **Arquitetura contemporânea e automação: prática e reflexão**. São Paulo: ProBooks, 2018. p. 21 a 24.

SEDREZ, Maycon; MARTINO, Jarryer A. de. Sistemas generativos. In: CELANI, M.G.C.; SEDREZ, M. (Org.). **Arquitetura contemporânea e automação: prática e reflexão**. São Paulo: ProBooks, 2018. p. 21 a 24.

TERZIDIS, Kostas. **Algorithmic architecture**. Architectural Press. Elsevier, 2006.

WILSON, Jamal Omari. **A systematic approach to bio-inspired conceptual design**. Georgia Institute of Technology. 2008.

**Site pesquisado:**

LYNN, Greg. Greg Lynn FORM. Disponível em: <<http://glform.com/bio-2/>> acesso em: 09 abr. 2018.

PRIBERAM (2018). Dicionário da língua portuguesa, biomimético. Disponível em: <<https://www.priberam.pt/dlpo/>>

## 7 APÊNDICES

### 7.1 APÊNDICE 1: QUADRO DE ATIVIDADES DO WORKSHOP

Quadro 3: Quadro de atividades

#### Tabela de atividades

Dia 28/06 - 01/09

1º Período – 4 horas	Aula expositiva e introdução à interface dos <i>softwares</i> Rhinoceros 3D 6.0 e Grasshopper.
Intervalo	Almoço.
2º Período – 4 horas	Exercício de analogia e observação de estruturas morfológicas de plantas de pequeno porte dividido em duas partes: observação e croqui à mão + modelagem em software paramétrico (exercício individual).

Dia 29/06 - 02/09

3º Período – 4 horas	Continuação do exercício de observação e modelagem em software paramétrico de estruturas morfológicas das plantas escolhidas.
Intervalo	Almoço.
4º Período – 4 horas	Prototipagem rápida em tecnologia FDM de alguns dos modelos desenvolvidos pelos alunos durante o exercício e discussão em grupo.

## 7.2 APÊNDICE 2: QUADRO BIBLIOGRÁFICO

Quadro 4 – Apêndice 2 – Pesquisa bibliográfica sistemática.

Título do Trabalho	Autor e Periódico	Palavras-chave	Assunto
Self-Organization and the Structural Dynamics of Plants	Michael Weinstock – AD Architectural Digest. 2006.	Biomimética; Arquitetura.	Estudo das características estruturais do bambu e plantas em geral e sua aplicação biomimética na arquitetura.
The New Structuralism. Design, Engineering and Architectural Technologies.	Rivka Oxman and Robert Oxman - AD Architectural Digest. 2010.	Fabricação Digital; Arquitetura Paramétrica.	Evolução tecnológica de métodos de fabricação digital e a nova abordagem a partir da materialidade da arquitetura.
Biomimetic design processes in architecture: morphogenetic and evolutionary computational design	Achim Menges – Bioinspiration & Biomimetics. Vol. 7. 2012.	Biomimética; Arquitetura Paramétrica; Design Computacional.	Como o design computacional propicia uma abordagem biomimética para a arquitetura através de conceitos de morfogenética e evolução.
Design and construction principles in nature and architecture	Jan Knippers and Thomas Speck - Bioinspiration & Biomimetics. Vol. 7. 2012.	Biomimética; Arquitetura Paramétrica; Biologia e Arquitetura.	Como a disciplina emergente da biomimética pode contribuir para a arquitetura em termos de novas estratégias construtivas e técnicas de implantação.

Upgrading computational design	Shajay Bhooshan - AD Architectural Design. 2016.	Design computacional; Arquitetura paramétrica; Tecnologia digital.	O papel vital desenvolvido pela arquitetura paramétrica na evolução do design computacional.
Scripts em CAD e ambientes de programação visual para modelagem paramétrica: Uma comparação do ponto de vista pedagógico	Gabriela Celani e Carlos Vaz – V TIC. 2011.	Modelagem paramétrica; Linguagem de programação; Ensino.	Comparação de softwares de programação visual e linguagem script em CAD como ferramentas de ensino de conceitos computacionais.
Architecture as Nature: A Biodigital Hypothesis	Dennins Dollens - Leonardo, Vol.42, No. 5, p.412-420. MIT Press. 2009.	Arquitetura paramétrica; Biomimética; Arquitetura Biológica.	Bioarquitetura e bio-design como parte da natureza. Exemplos de design generativo e botânico-digitais.
Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture	Daniel Davis – Thesis for Doctor of Philosophy – School of Architecture and Design. RMIT University. 2013.	Modelagem paramétrica; Arquitetura paramétrica; Modelos flexíveis; Metodologia de projeto.	Tese de Doutorado sobre modelagem paramétrica, suas aplicações na arquitetura, vantagens e desvantagens, variações entre softwares paramétricos e estudos de caso.

<p>Fibrous structures: An integrative approach to design computation, simulation and fabrication for lightweight, glass and carbon fiber composite structures in architecture based on biomimetic design principles</p>	<p>Steffen Reichert, Tobias Schwinn, Riccardo La Magna, Frédéric Waimer, Jan Knippers, Achim Menges – CAD – Computer-Aided Design, Vol. 52. p. 27-39. 2014.</p>	<p>Biomimética; Design computacional; Fabricação Robótica.</p>	<p>Conceitos do design biomimético aplicados à fabricação robótica de um pavilhão utilizando sistemas compostos de fibra polímera reforçada.</p>
<p>Strategies for parametric design in architecture. An application of practice led research.</p>	<p>HUDSON, Roland. Tese de Doutorado. Universidade de Bath. 2010.</p>	<p>Parametric architecture; design strategie; computational design.</p>	<p>Tese de doutoramento sobre estratégias paramétricas de projeto amparadas por pesquisa direcionada à prática profissional.</p>
<p>Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture.</p>	<p>DAVIS, Daniel. RMIT University. Tese de Doutorado. 2013.</p>	<p>Parametric modelling; parametric architecture; computational design.</p>	<p>Tese de doutoramento sobre modelos paramétricos aplicados a arquitetura e engenharias.</p>
<p>Parametrics Explained.</p>	<p>LEACH, Neil. Next Generation Building. Vol. 1, No. 1. 2014.</p>	<p>Parametric architecture; Parametric modelling.</p>	<p>Função e aplicação da arquitetura paramétrica.</p>

Essential Precursors to the Parametricism Manifesto. Antoni Gaudí and Frei Otto.	BURRY, Mark. Revista AD. Volume 86, Issue 2. March/April. 2016. p.30-35	Parametric architecture; Parametric model.	Aborda como Gaudí e Otto exploravam modelos paramétricos antes da era computacional.
Parametric notations. The birth of the non-standard.	CARPO, Mario. Revista AD. Volume 86, Issue 2. March/April. p.24-29. 2016.	Digital Architecture; Parametric Architecture.	Trata sobre as teorias do design paramétrico e as relaciona com práticas anteriores a era digital contemporânea.

### 7.3 APÊNDICE 3: QUESTIONÁRIO DO WORKSHOP

#### 1 PRIMEIRA PARTE: ENTENDIMENTO ACERCA DO TEMA DE PESQUISA, TERMOS, FERRAMENTAS E PROCESSOS

Após este workshop seu entendimento sobre o que é **arquitetura bio-inspirada**, suas funções e aplicações nas diferentes etapas de projeto. Assinale a opção que mais se adequa:

- a. Não se alterou, ainda não compreende o que é arquitetura bio-inspirada e suas aplicações projetuais;
- b. Alterou-se pouco. Já possuía conhecimento sobre arquitetura bio-inspirada e não considera que aprendeu algo novo;
- c. Alterou-se muito. Tinha pouca ou nenhuma experiência prévia com arquitetura bio-inspirada e suas aplicações projetuais;
- d. Outros.

Após este workshop seu entendimento sobre o que é **arquitetura paramétrica**, suas vantagens e desvantagens nas diferentes etapas de projeto. Assinale a opção que mais se adequa:

- a. Não se alterou, ainda não compreende o que é arquitetura paramétrica e suas aplicações projetuais;
- b. Alterou-se pouco. Já possuía conhecimento sobre arquitetura paramétrica e não considera que aprendeu algo novo;

- c. Alterou-se muito. Tinha pouca ou nenhuma experiência prévia com arquitetura paramétrica e suas aplicações projetuais;
- d. Outros.

Após este workshop seu entendimento sobre os termos **biomimético, biomórfico, biônico e orgânico** quando referentes à arquitetura. Assinale a opção que mais se adequa:

- a. Não se alterou, ainda não compreende a diferença entre os termos;
- b. Alterou-se pouco. Já possuía conhecimento sobre arquitetura biomimética, biomórfica, biônica e orgânica e não considera que aprendeu algo novo;
- c. Alterou-se muito. Tinha pouco ou nenhum conhecimento prévio sobre arquitetura biomimética, biomórfica, biônica e orgânica;
- d. Outros.

Após este workshop seu entendimento sobre os termos **parametrização, sistemas generativos e programação visual**. Assinale a opção que mais se adequa:

- a. Não se alterou, ainda não compreende a definição dos termos;
- b. Alterou-se pouco. Já possuía conhecimento sobre parametrização, sistemas generativos e programação visual e não considera que aprendeu algo novo;
- c. Alterou-se muito. Tinha pouco ou nenhum conhecimento prévio com parametrização, sistemas generativos e programação visual;
- d. Outros.

## 2 SEGUNDA PARTE: ENTENDIMENTO ACERCA DAS TÉCNICAS DE ANALOGIA, BIOMIMÉTICA, ABSTRAÇÃO E AS FERRAMENTAS DIGITAIS PARAMÉTRICAS

Após este workshop seu entendimento sobre as técnicas de **analogia, biomimética, abstração** e seu papel na etapa conceitual de projeto.

Assinale a opção que mais se adequa:

- a. Não se alterou, ainda não compreende o que são técnicas de analogia, biomimética e abstração;
- b. Alterou-se pouco. Já possuía conhecimento sobre as técnicas de analogia, biomimética e abstração e não considera que aprendeu algo novo;
- c. Alterou-se muito. Tinha pouco ou nenhum conhecimento prévio com técnicas de analogia, biomimética e abstração e suas aplicações projetuais;
- d. Outros.

Após este workshop seu entendimento sobre a ferramenta de **programação visual e técnica paramétrica** e seu papel no processo de projeto. Assinale a opção que mais se adequa:

- a. Não se alterou, ainda não compreende o que é programação visual e parametrização;
- b. Alterou-se pouco. Já possuía conhecimento sobre programação visual e parametrização e não considera que aprendeu algo novo;
- c. Alterou-se muito. Tinha pouco ou nenhum conhecimento prévio sobre programação visual e parametrização e suas aplicações projetuais;
- d. Outros.

Após este workshop seu entendimento sobre o pacote de *software* **Rhinoceros 3D 6.0 + Grasshopper** e seu papel nas diferentes etapas projetuais. Assinale a opção que mais se adequa:

- a. Não se alterou, ainda não compreende funções básicas deste pacote de softwares;
- b. Alterou-se pouco. Já possuía conhecimento sobre este pacote de softwares e não considera que aprendeu algo novo;
- c. Alterou-se muito. Tinha pouco ou nenhum conhecimento prévio com este pacote de softwares;
- d. Outros.

Após este workshop seu **interesse sobre softwares paramétricos e tecnologias digitais de fabricação e possíveis aplicações futuras em sua profissão**. Assinale a opção que mais se adequa:

- a. Não se alterou, ainda não compreende as vantagens da modelagem paramétrica e fabricação digital;
- b. Alterou-se pouco. Já possuía conhecimento sobre softwares paramétricos e tecnologias digitais de fabricação e não vê aplicações futuras em sua profissão;
- c. Alterou-se muito. Tinha pouco ou nenhum conhecimento prévio com softwares paramétricos e tecnologias digitais de fabricação e vê aplicações futuras em sua profissão;
- d. Outros.

### 3 TERCEIRA PARTE: SOBRE O EXERCÍCIO DE ANALOGIA E ABSTRAÇÃO DA MORFOLOGIA VEGETAL E TRADUÇÃO DA FORMA EM MODELO PARAMÉTRICO

Sobre o **grau de dificuldade** do exercício de analogia e abstração da morfologia vegetal e tradução da forma em modelo paramétrico. Assinale a opção que mais se adequa:

- a. Baixa complexidade;
- b. Média complexidade;
- c. Alta complexidade.

Sobre o **aproveitamento** do exercício de analogia e abstração da morfologia vegetal e tradução da forma em modelo paramétrico. Assinale a opção que mais se adequa:

- a. Execução parcial da atividade;
- b. Execução integral da atividade, mas com ressalvas;
- c. Execução integral da atividade.

Sobre a **relevância** do exercício de analogia e abstração da morfologia vegetal e tradução da forma em modelo paramétrico e seu papel na etapa de geração de ideias de projeto. Assinale a opção que mais se adequa:

- a. Pouco relevante, não considera a busca por conceitos projetuais na natureza como aplicável na arquitetura;
- b. Relevante, mas com ressalvas. Considera a busca por conceitos projetuais na natureza como pouco aplicável na arquitetura;
- c. Muito relevante. Considera a busca por con-

ceitos projetuais na natureza como altamente aplicável na arquitetura.

Sobre **tempo despendido** para o exercício proposto, desde o croqui, programação e fabricação. Assinale a opção que mais se adequa:

- a. Pouco tempo de aprendizado;
- b. Tempo suficiente de aprendizado;
- c. Tempo demasiado de aprendizado.

Use o espaço abaixo para deixar sugestões, manifestações e considerações que considere relevante para o desenvolvimento deste workshop.