

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA
PROPAR



Leonardo Prazeres Veloso de Souza

**OS CAMINHOS DO PROJETO NA PLATAFORMA DIGITAL: UMA INVESTIGAÇÃO
PEDAGÓGICA DO PROCESSO PROJETUAL NO AMBIENTE PARAMÉTRICO**

Porto Alegre
2018

Leonardo Prazeres Veloso de Souza

**OS CAMINHOS DO PROJETO NA PLATAFORMA DIGITAL: UMA INVESTIGAÇÃO
PEDAGÓGICA DO PROCESSO PROJETUAL NO AMBIENTE PARAMÉTRICO**

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do título de Mestre em Arquitetura, na Área de Concentração: Projeto de Arquitetura e Ensino.

Orientador: Prof. Dr. Airton Cattani

Porto Alegre
2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS EDUCACIONAIS OU DE PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

E-MAIL: leoprazeres13@gmail.com

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

Souza, Leonardo Prazeres Veloso
OS CAMINHOS DO PROJETO NA PLATAFORMA DIGITAL: UMA
INVESTIGAÇÃO PEDAGÓGICA DO PROCESSO PROJETUAL NO
AMBIENTE PARAMÉTRICO / Leonardo Prazeres Veloso
Souza. -- 2018.
175 f.
Orientador: Airton Cattani.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura,
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Porto
Alegre, BR-RS, 2018.

1. Projeto Arquitetônico. 2. Ensino. 3. Modelagem
Paramétrica/Algorítmica. 4. Ambiente Digital. 5.
Computação Gráfica. I. Cattani, Airton, orient. II.
Título.

Leonardo Prazeres Veloso de Souza

**OS CAMINHOS DO PROJETO NA PLATAFORMA DIGITAL: UMA INVESTIGAÇÃO
PEDAGÓGICA DO PROCESSO PROJETUAL NO AMBIENTE PARAMÉTRICO**

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura na Área de Concentração: Projeto de Arquitetura e Ensino.

Porto Alegre, 29 de junho de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Alessandra Teribele.....(UNISINOS)

Profa. Dra. Angélica Paiva Ponzio.....(UFRGS)

Profa. Dra. Underléia Bruscatto.....(UFRGS)

Prof. Dr. Airton Cattani - Presidente da banca....(UFRGS)

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho a todos aqueles que de alguma forma me ajudaram, encorajaram e me proporcionaram aqui chegar e obter êxito.

À minha mãe Anelisa e meu pai Veloso, cada um à sua maneira, que me incentivaram a não desistir, a prosperar e a vencer este grandioso desafio que por vezes me apequenava.

Ao meu irmão Leandro, que admiro incondicionalmente, de quem tiro parte da minha coragem, força e, porque não, petulância para desafiar qualquer obstáculo que se poste a minha frente.

Um agradecimento todo especial à minha esposa, companheira e amiga, Ana Carolina, que se sacrificou para que eu pudesse aproveitar esta oportunidade de crescimento como indivíduo e que, a despeito de toda a saudade, sempre me apoiou e nunca duvidou que eu seria capaz de obter sucesso nesta empreitada.

À minha família porto-alegrense, Tia Ariadne, Tio Júlio, Tio Júnior e Rodrigo, por ter me dado todo o suporte necessário durante esta etapa da minha vida, em especial à minha adorada avó Ivone que me acolheu uma vez mais em sua casa e em seu coração durante este processo de amadurecimento pessoal.

Agradeço ao meu orientador, Aírton Cattani, por propiciar um ambiente de discussão aberto, seguro e saudável. Por depositar em mim sua confiança e por mostrar-se sempre solícito, a qualquer dia e hora possíveis. Me faltam palavras para agradecê-lo.

Ao Mário Guidoux e aos meus colegas do SIMLAB que me instruíram na descoberta do *Grasshopper*.

À professora Underléia Bruscato e à professora Angélica Ponzio, pela oportunidade que me proporcionaram e pelas sugestões e orientações durante a banca de qualificação e ao longo do processo do mestrado.

À professora Alessandra Teribele por ter feito uma das contribuições mais contundentes deste mestrado, apresentando um novo e instigante ponto de vista sobre a minha pesquisa.

À Rosita e demais funcionários da secretaria que me auxiliaram nos momentos de dúvidas e desespero.

Aos meus amigos de Porto Alegre, Henrique, Bruno e Thaís, que me acompanharam nessa “epopeia”, nem sempre com os melhores conselhos, mas sempre com as melhores intenções.

Um agradecimento ao meu amigo Lucas Piccoli, que me auxiliou na banca de qualificação fazendo-me enxergar mais claramente minha própria pesquisa.

À minha família cuiabana, Dona Ângela, Alessandra, Cairbar, Maria, que me manda a todo momento energias e orações, sempre torcendo por mim.

Ao pessoal do escritório, José Ricardo e Mariana, por terem mantido as engrenagens funcionando e o sonho vivo enquanto estive ausente.

A UFRGS que mais uma vez me acolheu e forneceu todos os subsídios necessários para que eu pudesse evoluir não só como profissional, educador, mas também como cidadão.

Um agradecimento especial à Capes pelo apoio financeiro depositando em mim. De certa forma, sua confiança na validade da minha pesquisa proporcionou o ambiente propício para a realização do meu trabalho.

Extraído do filme: "Com amor, Van Gogh"

"Quem sou eu aos olhos da maioria das pessoas? Um ninguém! Um não-ser. Uma pessoa desagradável. Alguém que não tem e nunca terá qualquer posição na sociedade. Resumindo, o pior dos piores.

Bem, mesmo se tudo isso for totalmente verdade, então, algum dia, gostaria de mostrar pelo meu trabalho, o que este ninguém, este não-ser, tem no coração. "

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: REFLECTION IN ACTION	19
FIGURA 2: LÓGICA ALGORÍTMICA PARA O PROJETO DE UM TELHADO.	21
FIGURA 3: VARIABILIDADE DE PROJETO NA LÓGICA ALGORÍTMICA	21
FIGURA 4: REPRESENTAÇÃO EM QUATRO FASES DO CICLO BÁSICO DA INVESTIGAÇÃO-AÇÃO.	28
FIGURA 5: WHIRLWIND I COMPUTER	37
FIGURA 6: IVAN SUTHERLAND E O SKETCHPAD.....	38
FIGURA 7: <i>IBM MODEL 5150</i>	43
FIGURA 8: APPLE MACINTOSH.....	43
FIGURA 9: MODELO VIRTUAL DA ESCULTURA DO PEIXE	46
FIGURA 10: MODELO FÍSICO DA ESCULTURA DO PEIXE	46
FIGURA 11: LINHA DO TEMPO ANALÍTICA	49
FIGURA 12: LINHA DO TEMPO SINTÉTICA	49
FIGURA 13: ALTERAÇÕES PARAMÉTRICAS DO CILINDRO	54
FIGURA 14: DESIGN DIGITAL	57
FIGURA 15: CURVAS CATENÁRIAS DE ANTONI GAUDÍ	58
FIGURA 16: SUPERFÍCIES MÍNIMAS DE FREI OTTO	59
FIGURA 17: ABORDAGEM DE PROJETO CONVENCIONAL E COM O USO DE SISTEMAS GENERATIVOS	60
FIGURA 18: RELAÇÃO ENTRE O DESIGN ALGORÍTMICO DIGITAL, O DESIGN GENERATIVO E O PARAMÉTRICO.....	62
FIGURA 19: SOFTWARES UTILIZADOS EM DA-III	77
FIGURA 20: HARDWARES UTILIZADOS EM DA-III.....	77
FIGURA 21: PERFIL INICIAL	83
FIGURA 22: VARIAÇÃO PERFIL 01	83
FIGURA 23: VARIAÇÃO PERFIL 02	83
FIGURA 24: ALGORITMO DO PERFIL.....	83
FIGURA 25: VOLUME 01 – OPERAÇÃO LOFT.....	85
FIGURA 26: VOLUME 02 – OPERAÇÃO EXTRUDE + SCALE	85
FIGURA 27: VOLUME 03 – OPERAÇÃO EXTRUDE + PERFIL VARIÁVEL	85
FIGURA 28: VOLUME 04 – OPERAÇÃO EXTRUDE + SIMETRIA.....	85
FIGURA 29: DIRETRIZES ESTRUTURAIS.....	86
FIGURA 30: FAMÍLIA DE SEÇÕES DE MADEIRA UTILIZADOS NA DISCIPLINA.....	87
FIGURA 31: CLUSTER EXTERNO.....	88
FIGURA 32: CLUSTER INTERNO.....	88
FIGURA 33: ESTRUTURA LOFT INICIAL	88
FIGURA 34: ESTRUTURA LOFT 02 ALTERAÇÕES NOS PERFIS E NAS DIMENSÕES DO VOLUME.....	88
FIGURA 35: ESTRUTURA LOFT 03 ALTERAÇÕES NOS PERFIS E NAS DIMENSÕES DO VOLUME.....	88
FIGURA 36: RACIOCÍNIO ALGORÍTMICO EXPLICITADO.....	89
FIGURA 37: COMPONENTES GALC.....	90
FIGURA 38: INTEGRAÇÃO RHINOCEROS 5, GRASSHOPPER E ARCHICAD COM O PLUG-IN GALC.....	91
FIGURA 39: IMAGEM AÉREA DO TERRENO DE PROJETO ARQUITETÔNICO II.....	94
FIGURA 40: MODELO COGNITIVO ADOTADO EM PA-II BASEADO NA ESPIRAL DE BROADBENDT.	97
FIGURA 41: CONCEITO E PALAVRA CHAVE	101
FIGURA 42: CASA NA ÁRVORE	102
FIGURA 43: MAPA MENTAL, GRÁFICO DE POLARIDADES E MOODBOARD CONCEITUAL.....	103
FIGURA 44: PROCESSO PROJETUAL DA DISCIPLINA DE PA-II.....	108
FIGURA 45: INTERVENÇÕES EM MOMENTOS CHAVES	108
FIGURA 46: DIAGRAMA VORONOI NA NATUREZA	110
FIGURA 47: PROJETO DE PAISAGISMO QUE UTILIZA DIAGRAMAS VORONOI	110
FIGURA 48: SEQUÊNCIA DE FIBONACCI NA NATUREZA.	110
FIGURA 49: PROJETO QUE UTILIZA A SEQUÊNCIA DE FIBONACCI PARAMA PÉRGULA.	110

FIGURA 50: ANÁLISE DO TERRENO DE PROJETO	111
FIGURA 51: IMPLANTAÇÃO BASEADA NOS VENTOS PREDOMINANTES	112
FIGURA 52: IDENTITY PAVILLION DE JOSEP FERRANDO – ELEMENTOS ATÔMICOS + OPERAÇÕES	113
FIGURA 53: OPERAÇÕES PARAMÉTRICAS BIDIMENSIONAIS	115
FIGURA 54: OPERAÇÕES PARAMÉTRICAS TRIDIMENSIONAIS	115
FIGURA 55: PROCESSO GERADOR DE FORMA – GRAMÁTICA DA FORMA.	116
FIGURA 56: PROCESSO GERADOR DE FORMA – GRAMÁTICA DA FORMA.	117
FIGURA 57: PROCESSO GERADOR DE FORMA – GRAMÁTICA DA FORMA.	117
FIGURA 58:DIAGRAMAS COM AS DIFERENTES ABORDAGENS EMPREENDIDAS PELOS ALUNOS.....	121
FIGURA 59: FLUXO DE TRABALHO PARA MODELAGEM DA UNIDADE DE HABITAÇÃO - INDIVÍDUO B (T3)	122
FIGURA 60: DO MODELO PARA A REPRESENTAÇÃO GRÁFICA - DIFERENTES SOFTWARES	123
FIGURA 61: PROCESSO PROJETUAL PA-II	124
FIGURA 62: VOLUMETRIAS 2017/1	126
FIGURA 63: VOLUMETRIAS 2017/2 – CATEGORIA T1	126
FIGURA 64: VOLUMETRIAS 2017/2 – CATEGORIA T3	126
FIGURA 65: PROCESSO DE MODELAGEM – T3.....	128
FIGURA 66: DESENHOS TÉCNICOS - PROJETO CATEGORIA T3	135
FIGURA 67: DESENHOS TÉCNICOS - PROJETO CATEGORIA T3	136
FIGURA 68: DESENHOS TÉCNICOS - PROJETO CATEGORIA T3	137

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: COMPARATIVO ENTRE AMBIENTE PROJETUAIS	73
TABELA 2: DESCRIÇÃO DOS INDIVÍDUOS PESQUISADOS	107
TABELA 3: NÍVEL DE APROFUNDAMENTO NOS SOFTWARES TRABALHADOS.....	129
TABELA 4: CONCEITOS DA DISCIPLINA ATRIBUÍDOS AOS ALUNOS T3	139
TABELA 5: CONCEITOS DA DISCIPLINA ATRIBUÍDOS AOS ALUNOS T1	139

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	15
1.1 PROBLEMA	23
1.2 OBJETIVOS	24
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	24
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
1.3 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	25
1.4 ABORDAGEM METODOLÓGICA	26
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	31
2 ARQUITETURAS COMPUTACIONAIS: UM BREVE HISTÓRICO	33
2.1 HISTÓRIA DA PLATAFORMA CAD	36
2.1.1 EVOLUÇÃO DO HARDWARE	37
2.1.2 EVOLUÇÃO DO SOFTWARE.....	38
2.1.3 EVOLUÇÃO DA COMPUTAÇÃO GRÁFICA	40
2.1.4 POPULARIZAÇÃO DE HARDWARE E SOFTWARE	42
2.1.5 ARQUITETURAS COMPUTACIONAIS CONSTRUÍDAS	45
2.1.6 COMPUTADOR COMO AMBIENTE PROJETUAL	48
2.2 DESIGN PARAMÉTRICO	50
2.2.1 DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS	52
2.3 DESIGN GENERATIVO	57
2.3.1 DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS	59
2.4 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)	65
2.4.1 DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS	68
3 PROJETO ARQUITETÔNICO E AMBIENTES DIGITAIS	74
3.1 DESENHO ARQUITETÔNICO III - SEMESTRE - 2017/1 ANÁLISE.....	75
3.2 DESENHO ARQUITETÔNICO III - SEMESTRE - 2017/2 PROPOSTA	80
3.2.1 PERFIL PARAMÉTRICO	82
3.2.2 VOLUMETRIA PARAMETRIZADA	84
3.2.3 SECCIONAMENTO E LINHAS GUIA	85
3.2.4 SISTEMA ESTRUTURAL PARAMETRIZADO	87
3.2.5 INTEGRAÇÃO ENTRE SISTEMA ALGORÍTMICO E BIM	90
3.3 PROJETO ARQUITETÔNICO II - SEMESTRE - 2017/1 ANÁLISE.....	92
3.3.1 EIXOS TEMÁTICOS	94
3.3.2 ESTRATÉGIAS DO DESIGN THINKING.....	98
3.3.2.1 A CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS.....	99
3.3.2.2 STORYTELLING	99
3.3.2.3 CONSTRUÇÃO DO CONCEITO E PALAVRA-CHAVE.....	100
3.3.2.4 BRAINSTORMING	101
3.3.2.5 MAPAS MENTAIS E GRÁFICOS DE POLARIDADE	102
3.3.2.6 MOODBOARD.....	103
3.3.2.7 CHAPÉUS DO PENSAMENTO	104
3.3.3 CONCLUSÃO ANÁLISE PA-II - 2017/1	105
3.4 PROJETO ARQUITETÔNICO II - SEMESTRE - 2017/2 - PROPOSTA	106
3.4.1 ABORDAGEM – ETAPA IMPLANTAÇÃO	109
3.4.2 ABORDAGEM – ETAPA PROGRAMÁTICA.....	112
3.4.2.1 GRAMÁTICA DA FORMA	112
3.4.2.2 ALGORITMOS DE SIMETRIA	114

3.4.2.3 ORGANIZAÇÃO DOS RESULTADOS	116
3.4.2.4 PROCESSO PROJETUAL ALGORÍTMICO	118
3.4.2.5 FLUXO DE TRABALHO	122
4 DISCUSSÃO DE RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS.....	125
4.1 POTENCIALIDADES.....	125
4.2 PROBLEMAS.....	140
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	146
5.1 ABRANGÊNCIA DA PROPOSTA.....	146
5.2 INSTRUMENTALIZAÇÃO EM DA-III.....	147
5.3 PERÍODO DE TRANSIÇÃO	148
5.4 A INTEGRAÇÃO ENTRE SOFTWARES PARAMÉTRICOS E BIM	149
5.5 DESIGN GENERATIVO, DESIGN PARAMÉTRICO E BIM	150
5.6 POSSÍVEIS DESDOBRAMENTOS	151
APÊNDICES.....	161
ANEXOS	166
GLOSSÁRIO DE TERMOS.....	170
GLOSSÁRIO DE COMPONENTES DO GRASSHOPPER.....	173

RESUMO

O ensino de projeto arquitetônico é, via de regra, o tronco da estrutura curricular dos cursos de Arquitetura no Brasil. Não obstante, com o passar do tempo, o ensino de projeto se mostra à prova de definições estáticas a respeito de metodologias de ensino para sua prática e aprendizado. São inúmeras as metodologias propostas e em desenvolvimento para o ensino de projeto, pois a elaboração de um projeto envolve a inter-relação entre diversas categorias de conhecimentos e habilidades, que interagem de modo não-linear entre si. Com a revolução digital do exercício profissional de arquitetura, um novo paradigma se apresenta como um particular desafio para as universidades brasileiras: introduzir no currículo do curso metodologias de ensino de projeto arquitetônico estruturadas, de modo articulado com meios e plataformas digitais que explorem as ferramentas computacionais para além do limiar da simples representação gráfica. Analisando o panorama geral, é possível notar que esta prática ainda está em estágio inicial no País (ROMCY, 2017). Segundo Orciuoli, (2009) a arquitetura digital ainda é vista com certa resistência pelas próprias faculdades de arquitetura. Neste sentido, esta dissertação se propõe a pesquisar a implantação de estratégias para o desenvolvimento de projeto utilizando o ambiente digital algorítmico e paramétrico em uma disciplina de projeto arquitetônico, assim como a instrumentalização necessária para a utilização destas ferramentas computacionais. Foi desenvolvida uma pesquisa-ação em disciplinas do 4^a semestre da faculdade de arquitetura onde se propuseram exercícios relacionando conteúdos instrumentais às disciplinas de projeto para conectar o conhecimento computacional às estratégias projetuais. Na sequência, foi realizada uma análise sobre a integração entre *softwares* de desenho em plataforma BIM (*Building Information Modelling*) e *softwares* de modelagem algorítmica/paramétrica. Com isso, pretendeu-se fornecer subsídios instrumentais para que os alunos possam explorar estratégias projetuais digitais que utilizassem formas complexas, diminuindo assim os percalços habituais relativos à falta de destreza técnica na ferramenta digital tanto para o raciocínio projetual quanto para a posterior representação gráfica de suas propostas. Ademais foram analisados comparativamente os dados fornecidos pelos alunos antes e depois da implementação da abordagem de projeto digital, a fim de detectar problemas, potencialidades e efetividade da estratégia de ensino proposta.

Palavras chaves: Projeto Arquitetônico, Ensino, Modelagem Paramétrica/Algorítmica, Ambiente Digital, Desenho Arquitetônico, Computação Gráfica.

ABSTRACT

The teaching of architectural design is commonly the main curricula structure in architectural graduation in Brazil. Even though, over time, project teaching has been difficult to define by static methodologies to teach its practice and learning. In fact, there are lots of methodologies proposed and in development to teach the activity of design. That's because the design activity involves inter relationships between several knowledge domains and skills that's interact in a nonlinear way. With the digital revolution of architectural practice, a new paradigm reveals itself as a particular challenge to Brazilians architecture schools: how to introduce, in the course curricula, structured methodologies to architectural design teaching in an articulated manner with digital media that explores computational tools beyond graphic representations boundary. Analyzing the general panorama, it is possible to note that this practice is still in its initial stages in Brazil (ROMCY, 2017). According to Orciuoli, (2009) digital architecture is still seen with some resistance by the architecture faculties themselves. In this sense, this work proposes to study strategies to develop projects using digital algorithmic and parametric media in a discipline of architectural design as well as the knowledge necessary to carry on these computational tools. An action research was developed in disciplines of the 4th semester of the architecture faculty where they were proposed exercises relating instrumental disciplines with design disciplines to connect computational knowledge to design strategies. Next was analyzed the integration between a BIM software with a algorithmic/parametric modeling software. To this end, instrumental grants were able to assist people in the development of digital capacities, using the complex forms reducing in this way the usual gaps related to a lack of technical skills on reasoning or drawing with digital tool. Data developed by the students before and after the implementation of the digital design approach was analyzed comparatively in order to detect problems, potentialities and effectiveness of the proposed teaching strategy.

Keywords: Architectural Project, Teach, Parametric/Algorithmic Modelling, Digital Media, Architectural Drawing, Graphic Computater.

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O conceito de arquitetura pode ser definido de maneira bastante ampla: trata-se de uma atividade que reúne conhecimentos técnicos, estéticos, históricos, sociais, ambientais, entre outros, tornando-a um ofício deveras abrangente. Durante o período do movimento moderno na arquitetura, entre 1920 e 1970, Louis Sullivan (1896) proferiu a célebre frase - “A forma segue a função” – que teve papel central na formação de várias gerações de arquitetos, e marcou a função como um papel central da arquitetura, e foi reafirmada por muitos arquitetos da época, o que a dissociava das disciplinas artísticas e criativas. Contudo, outros teóricos alegam que a função programática não define a arquitetura em si e sim um conjunto de intenções mais abrangente, uma vez que a arquitetura inclui uma gama muito maior e complexa de propósitos que não apenas sua característica funcional, como bem exemplificado por Mitchell (2008):

Aplicar uma linguagem que resolva problemas exclusivamente funcionais significa simplesmente construir. Entretanto, quando existe, além disso, uma intenção retórica e uma preocupação com qualidades formais, então o ato de construir torna-se arquitetura (MITCHELL, 2008, p. 13).

Mitchell (2008) cita ainda Nikolaus Pevsner, atribuindo-lhe a seguinte afirmação: “[...] um abrigo de bicicletas é um edifício, mas a catedral Lincoln é uma obra de arquitetura” (PEVSNER, 1976, apud MITCHELL, 2008). Todavia Bernard Tschumi apresenta uma visão divergente afirmando que, “a construção pode ter relação com a utilidade, a arquitetura não necessariamente” (TSCHUMI, 1996). Encarar a arquitetura sob pontos de vista similares ao apresentado por Tschumi proporcionou certa liberdade aos arquitetos para explorações formais arquitetônicas além da função, impulsionando não só questionamentos conceituais, mas também a tecnologia, os processos criativos e o ensino da própria arquitetura em si.

Pode-se perceber que as definições acima elencadas para a arquitetura possuem certas diferenças entre si, mantendo aberto um leque de possibilidades para o exercício projetual. Para esta dissertação, a formação acadêmica da arquitetura, ou

seja, como educar os alunos para a prática profissional, é de vital importância. Em uma definição mais concisa do ponto de vista educacional, proposta por Sívio Colín (2000), a arquitetura atualmente é, antes de qualquer coisa, uma profissão de nível superior, ou seja, exige uma formação profissional para que se possa exercê-la. Segundo Colín (2000), o ensino do curso de graduação se divide em três áreas de conhecimento distintas: a área de conhecimentos técnicos, que abrange disciplinas de cálculo e engenharias; a área das Ciências Humanas, que aborda assuntos relacionados à história, às disciplinas teóricas, à psicologia e à sociologia aplicadas à arquitetura e ao urbanismo; a terceira área de conhecimento relaciona-se à representação e à composição de Projetos de Arquitetura. O presente trabalho tem a intenção de explorar esta terceira área de conhecimento, focando na relação entre o ensino e a aprendizagem dos conhecimentos necessários para a composição geral de um projeto arquitetônico com o auxílio de ferramentas digitais paramétricas.

Sabe-se que a atividade projetual envolve a elaboração mental e a destreza instrumental (SCHÖN, 2000), uma vez que ocorre uma intrínseca relação entre o domínio das ideias e sua representação gráfica durante o processo de projeto, sendo esta última a responsável por trazer estas ideias do plano mental para o plano real (EASTMAN, 2001). Torna-se evidente que, para a elaboração de metodologias de ensino relacionadas com o ato de projeção, é necessário antes entender como os estudantes e profissionais de arquitetura elaboram seus projetos.

Donald Schön no livro “The reflective practitioner: How professionals think in action” (1983) apresenta sua visão de como os profissionais da área de design usam representações externas para pensar, raciocinar, evoluir e refinar as ideias. O autor descreve a partir da observação da rotina de trabalho dos designers um procedimento cíclico que ele denomina de *Seeing-moving-seeing* (SCHÖN, 1983). Esse procedimento consiste em uma sequência de ações tais como observar um desenho, transformá-lo, observar o resultado e descobrir certas consequências não-intencionais da transformação realizada e reiniciar o ciclo. O processo pode ser descrito como a criação a partir da representação, avaliação, transformação e reflexão. Estas etapas do processo criativo, descritas por Schön (1983), podem ocorrer utilizando-se qualquer mídia, recurso ou ferramenta, seja o papel ou o desenho a mão, maquetes físicas ou mesmo utilizando modelos virtuais.

Cada uma dessas mídias fornece diferentes possibilidades de emergência formal, sendo este um fator determinante para o ato projetual (OXMAN, 2002). Como bem pontuado por Mitchell (2008), arquitetos costumam criar mundos projetuais¹ implícitos por meio da escolha de instrumentos de desenho e mídias de representação. Cada mídia apresenta diferentes possibilidades de emergência formal, seja pela fluidez do traço, possível na produção dos desenhos a mão, pelas características físicas de materiais empregados em uma maquete ou pelas possibilidades que determinados *softwares* oferecem em um modelo virtual. Por outro lado, cada mídia pode revelar também axiomas² não planejados. Ao analisar, por exemplo, um mundo projetual criado por um desenho com lápis e papel apenas, evidentemente que a representação gráfica ocorreria de modo bidimensional. Além disso, seria praticamente impossível desenhar uma linha perfeitamente paralela sem o auxílio de instrumentos complementares como esquadros ou régua “T”.

Por outro lado, ao trabalhar com maquetes físicas de papel, este mundo projetual atenderia ao axioma de que com o papel é possível obter superfícies retas, dobradas ou curvas, mas jamais seria possível obter uma superfície tensionada por exemplo. Os axiomas de um mundo projetual estão implícitos nas propriedades físicas dos materiais e instrumentos utilizados (MITCHELL, 2008).

A descrição proposta por Donald Schön é, por um lado, um grande avanço no entendimento de “como os designers projetam”; por outro lado, a observação acontece a partir de desenhos e procedimentos externos à mente do projetista, portanto esclarece pouco o “por que os designers projetam dessa forma” (EASTMAN, 2001) sendo esta questão ainda uma grande incógnita. Ademais, trata apenas do mundo projetual relativo ao desenho analógico e, portanto, restrito aos axiomas desse mundo projetual.

O crescimento da psicologia cognitiva na década de 1960 despertou o interesse dos pesquisadores pelo estudo do caráter cognitivo, assim como dos mecanismos de raciocínio empregados no ato projetual. Desde então, autores como Eastman (1969),

¹Mitchell em seu livro “A Lógica da Arquitetura” (2008) define um mundo projetual como um mundo onde é possível esboçar possibilidades do mundo real.

²De acordo com Mitchell (2008), axiomas aqui podem ser considerados relações que devem acontecer obrigatoriamente em um determinado mundo projetual, tais como limitações físicas dos materiais empregados ou limitações inerentes ao uso da linguagem virtual.

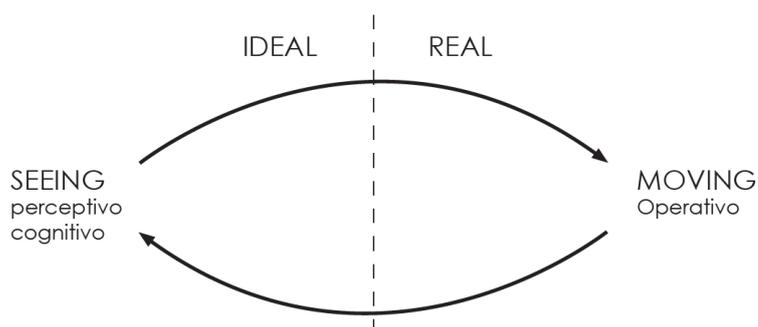
Akin (1978), Goldschmidt (1991), Gero (2014), entre outros, apresentaram importantes trabalhos com este foco de pesquisa aplicado à arquitetura e ao design.

Para Donald Schön, é possível descrever o ato de projetar como um processo genérico que se encontra implícito em diferentes profissões relacionadas ao design. Para o autor, o ato projetual assemelha-se a uma conversa reflexiva com a situação ou contexto (SCHÖN, 1983). Nessa conversa, os projetistas utilizam diferentes materiais e linguagens para dialogar e interagir com um certo problema de projeto, utilizando desenhos, modelos ou imagens. Para o autor, o projetista eventualmente concretiza o produto final; porém, mais frequentemente, produz representações de um determinado elemento para ser construído por outros (SCHÖN, 1983). O autor atribui um caráter central à representação gráfica durante o processo cognitivo empreendido na elaboração de um projeto, sendo por meio destas representações que ocorre a conversa reflexiva citada em seu livro. Este diálogo entre projetista e desenho ocorre em camadas distintas da consciência do indivíduo. Segundo Oxman (2002), existem mecanismos perceptivos e cognitivos que operam na visão e na mente do projetista, respectivamente. O processo perceptivo ocorre no primeiro momento em um nível mais superficial da consciência do projetista, antecedendo o mecanismo cognitivo que ocorre em um nível mais profundo da consciência.

Assim, a percepção visual é responsável pela identificação básica de um determinado objeto e também auxilia na busca por formas correspondentes ao mesmo para representá-lo graficamente. Já a cognição, por sua vez, tem relação com as informações já armazenadas na memória do indivíduo, sendo ela responsável pela identificação do contexto do objeto observado. De modo geral, a percepção é responsável pela compreensão sintática e a cognição a responsável pela compreensão semântica de um objeto ou forma observada.

O esquema a seguir (Figura 1) sintetiza o modelo de processo criativo proposto por Donald Schön, sendo este um dos mais utilizados e difundidos nas instituições de ensino de arquitetura até os dias de hoje (OXMAN in STEINO et al, 2012). Trata-se de uma descrição de como designers e arquitetos interagem intuitivamente com seus desenhos e suas ideias a partir da tentativa e erro.

Figura 1: Reflection in Action



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Neste modelo, o entendimento do problema projetual evolui paralelamente à conversação reflexiva com o contexto. Pode-se descrever o processo de projeto como cíclico. Neste tipo de abordagem existe pouca margem para uma variação no contexto do projeto. Ou seja, as soluções buscadas e encontradas atendem a uma determinada situação específica.

O design³ digital, por sua vez, propiciou uma grande alteração de paradigmas no processo criativo dos profissionais da área de design (TERZIDIS, 2004; STEINO 2012). Com a introdução do computador como ferramenta de trabalho para profissionais de projeto houve uma mudança nos procedimentos e até mesmo na lógica projetual para além da própria linguagem de representação gráfica (CAIXETA, 2007; NATIVIDADE, 2010). Isto representa uma nova perspectiva, pois a representação gráfica foi por muito tempo a aplicação mais conhecida e difundida da ferramenta computacional aplicada à arquitetura. O design digital propõe uma abordagem de pensar o projeto completamente nova. Baseando-se na matemática e na lógica algorítmica, esta abordagem é focada em um design “não padronizado, não normativo e não repetitivo” (OXMAN, 2006, p.4). “Ao invés de usarmos o computador para desenhar geometrias com facilidade, a nova realidade que se propõe é informar ao computador o que se deseja alcançar” (BERNSTEIN, 2015) como resolução de um determinado problema arquitetônico. “O design digital é proposto como a próxima fase

³O termo *design* aqui refere-se à atividade projetual. Optou-se pelo uso da palavra *design* por ser esta usada com maior frequência em publicações nacionais e internacionais, pois uma das traduções possíveis para a palavra *design* é projeto, sendo, portanto, mais fácil de relacioná-lo com outras publicações.

do design, na qual os projetos não serão mais apenas baseados em princípios geométricos, mas sim em um conjunto de regras” (BERNSTEIN, 2015).

Na abordagem projetual digital, todo o processo de projeto segue uma sequência encadeada, regida por dados ou parâmetros. Cada parâmetro inserido influencia os parâmetros subsequentes, permitindo assim a criação de sistemas paramétricos que podem ser utilizados em diferentes contextos e ainda assim atingir o comportamento desejado para o projeto sem, no entanto, repetir suas características formais. Esta flexibilidade torna o projeto mais democrático e participativo, pois uma vez que os parâmetros de projeto são elaborados e disponibilizados digitalmente é possível incluir a contribuição de múltiplos agentes da sociedade, pois as alterações de parâmetros geram opções de projeto em tempo real. Portanto, é possível abrir a autoria do projeto para a comunidade sem prejuízo na eficiência da tomada de decisões projetuais (BENJAMIN, 2012).

É comum relacionar o design digital com a geração de formas complexas, sendo este, inclusive, um ponto de críticas entre muitos profissionais e teóricos da área. Alega-se, por exemplo, que o design digital produz formas complexas de maneira gratuita, gerando prejuízos às questões funcionais e construtivas pertinentes à arquitetura (JUNG, 2014). Como se foi possível constatar na pesquisa aqui realizada, pode-se dizer que esta crítica é parcialmente pertinente.

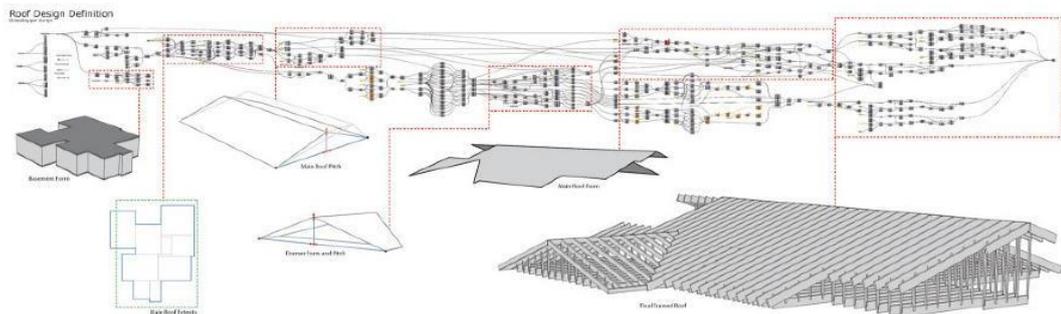
Houve, de fato, um período de extensa exploração da ferramenta computacional para que esta pudesse dar subsídios à criação de geometrias de grande complexidade e isto se refletiu no trabalho de muitos profissionais da arquitetura (NATIVIDADE, 2010; ROCHA, 2009). Por alguns anos, na década de 1990, alguns arquitetos e teóricos mantiveram seu foco em explorar os limites do que poderia ser feito com as novas ferramentas projetuais. Contudo, isso não quer dizer que tais explorações sejam desprovidas de utilidade ou conceito. Segundo Dollens (DOLLENS, 2002 apud NATIVIDADE, 2010), o objetivo das explorações não era simplesmente a criação de formas arquitetônicas de maneira aleatória e sim ampliar a discussão frente às novas possibilidades tecnológicas que se apresentam.

A geração de formas complexas, porém, não é uma consequência direta da abordagem digital aplicada a arquitetura. O computador é apenas uma plataforma na qual é possível alcançar altos níveis de complexidade geométrica graças ao seu poder

de processamento, exportação de dados e representação gráfica de superfícies. Assim arquitetos que utilizam geometrias complexas no seu processo de projeto encontraram no ambiente computacional uma ferramenta propícia à exploração formal, ao desenvolvimento e à execução de seus projetos.

É possível, no entanto, gerar projetos com topologias convencionais, retilíneas e ortogonais, valendo-se dos aspectos positivos do ambiente digital, como o controle de dados, a variabilidade e a sistemática projetual entre outros que contribuem para a qualidade do projeto. A figura 2 *Figura 2*, por exemplo, apresenta uma lógica algorítmica aplicada ao projeto de cobertura de uma edificação topologicamente convencional que utiliza o sistema construtivo de *woodframe*. Já a figura 3 mostra que utilizando essa lógica algorítmica é possível variar a topologia da edificação e ainda manter uma solução apropriada para a sua cobertura.

Figura 2: Lógica algorítmica para o projeto de um telhado.



Fonte: <http://cargocollective.com/brycerwillis/Grasshopper-House>

Figura 3: Variabilidade de projeto na lógica algorítmica



Fonte: <http://cargocollective.com/brycerwillis/Grasshopper-House>

No design digital é imprescindível que o arquiteto, no intuito de resolver estruturas complexas, com restrições projetuais, seja capaz de elaborar claramente o conjunto de problemas inerentes que precisa ser resolvido com o projeto. Só assim é possível propor um sistema que consiga integrar a resolução dos diferentes condicionantes de projeto (BENJAMIN, 2012). Desse modo, algumas abordagens do design digital, focam no processo e não apenas no resultado final já que, ao “invés de projetarmos uma edificação, projetaremos sistemas ou processos que projetarão a edificação” (BERNSTEIN, 2015).

Seja no modelo de processo criativo, descrito por Donald Schön, na prática do design digital, a ferramenta computacional pode ter um papel central no desenvolvimento projetual. No caso descrito por Schön, o computador pode ser usado para representação desempenhando a função do desenho ou dos croquis, no qual o projetista “conversa” e “negocia” com o projeto. No caso do design digital, o computador não é apenas a ferramenta, como é também o meio no qual ocorre o encadeamento das ideias. Todavia, neste caso, o produto final da elaboração projetual não será o projeto em si e sim o sistema que originará diversas possibilidades projetuais para um mesmo contexto dado.

Ao assumir que a representação gráfica é o meio pelo qual se estabelece o diálogo entre o arquiteto e o projeto durante o processo projetual, e que isso é de suma importância para o aprendizado do aluno de arquitetura, é preciso compreender como a representação gráfica apoiada por ferramentas computacionais pode ser ensinada. De acordo com Perrone (apud BATLLE 2011), pode-se orientar a representação gráfica de duas maneiras distintas. Primeiramente são ensinadas estratégias de desenhos sugestivos ou representativos, para que o aluno tenha capacidade de executar croquis de ideação rápida e também para que o mesmo consiga desenvolver características pessoais de expressão gráfica (PERRONE apud BATLLE 2011) .

Uma segunda abordagem é a produção de desenhos descritivos/ operativos, quando são ensinadas as técnicas e as convenções de desenho para que o aluno consiga, a partir de noções abstratas e normas de representação gráfica, representar seu projeto de maneira técnica simulando um desenho de caráter executivo. No que tange à representação gráfica com ferramentas computacionais, o raciocínio não é muito diferente: o foco é que o aluno consiga adquirir destreza suficiente para que se

torne apto não só a utilizar as ferramentas computacionais na representação de suas ideias, como também utilizar o ambiente computacional para o desenvolvimento do seu processo projetual (PERRONE apud BATLLE 2011).

Assim, de modo análogo às técnicas de instrumentalização de desenho, é necessário explorar, dentro do ambiente digital, o que cada *software* tem de melhor a oferecer no âmbito criativo e técnico. No sentido de explorar o que cada ferramenta oferece de melhor, este trabalho utilizou as plataformas algorítmicas/paramétricas para o processo de exploração e ideação de formas e a plataforma BIM para a fase de detalhamento dos partidos arquitetônicos obtidos nas etapas criativas anteriores. Nesta dissertação, buscou-se compreender como a ferramenta computacional é utilizada na elaboração e na representação de projetos, assim como propor uma metodologia a ser empregada no raciocínio projetual e cognitivo que utiliza o ambiente digital como meio para a geração de ideias. Dessa forma, pretende-se investigar novos caminhos para fomentar e auxiliar o aperfeiçoamento do processo criativo neste novo paradigma.

1.1 PROBLEMA

Existe uma intrínseca relação entre a representação gráfica, a arquitetura e os meios de produção (PONS, 2002; CELANI, 2013; NATIVIDADE, 2010). É possível notar, fazendo-se um breve levantamento histórico, que a evolução de qualquer um destes três fatores leva à uma transformação dos demais. Com a evolução da tecnologia impactando a arquitetura, tanto na sua maneira de ser pensada, como na sua maneira de ser construída, os conhecimentos necessários para que os profissionais elaborem e representem seus projetos se tornam cada dia mais diversificados e estão se modificando para atender às variadas necessidades, adaptações e transformações pela qual está passando a arquitetura (HASKELL, 2016).

Pensando neste universo de novas possibilidades de elaboração projetual, e partindo de percepções empíricas durante experiência profissional docente que este pesquisador teve no período de dois anos, observou-se algumas dificuldades entre os alunos em expressar formas não-ortogonais ou não-coplanares. Isto suscitou algumas

inquietações sobre como aperfeiçoar o ensino de projeto assistido por ferramentas computacionais no que tange à exploração projetual assim como a representação gráfica de formas complexas no âmbito criativo e técnico.

Neste sentido, optou-se pelo seguinte problema de pesquisa: Como utilizar a integração entre a plataforma BIM com o ambiente digital algorítmico/paramétrico para estimular a investigação projetual com o uso de formas complexas aplicadas à arquitetura, bem como diminuir as dificuldades relativas à representação gráfica inerentes a estas formas tanto no âmbito criativo como no técnico? Como as novas plataformas digitais paramétricas e BIM podem ser inseridas no currículo acadêmico de modo a expandir os limites do raciocínio criativo projetual entre os alunos?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar se a integração entre plataforma BIM e softwares algorítmicos/paramétricos constitui-se em um ambiente favorável para estimular o raciocínio criativo assim como facilitar a representação gráfica de formas complexas concebidas nestes ambientes digitais.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar e avaliar as bases teóricas, pedagógicas, instrumentais e projetuais necessárias para facilitar o ensino de projeto arquitetônico com ênfase em explorações projetuais no ambiente digital algorítmico/paramétrico;
2. Aplicar a integração entre *softwares* algorítmicos/paramétricos e a plataforma BIM em uma disciplina de projeto arquitetônico;
3. Avaliar o impacto das novas tecnologias estudadas neste trabalho no desenvolvimento de projeto dos alunos.

1.3 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A dissertação trata do uso de plataformas digitais paramétricas e BIM no processo projetual criativo assim como na representação gráfica técnica. Neste caso específico, analisa-se a relação entre o ensino e a aprendizagem da atividade projetual por alunos do curso de graduação em arquitetura e urbanismo para propor meios de aprimorar esta experiência. No intuito de realizar os objetivos propostos desta dissertação, foram empregados novos processos exploratórios com a utilização de ferramentas computacionais paramétricas e BIM.

O tema desta dissertação foi trabalhado em duas vertentes. A primeira vertente trata da instrumentalização necessária ao aluno para que este possa gerar, a partir de um conceito⁴, propostas de partido arquitetônico dentro do ambiente digital, assim como representá-lo em seus pormenores nas etapas de detalhamento posteriores à fase de concepção formal do projeto. Em sua segunda vertente, o trabalho teve como foco o estudo e a proposição de uma estratégia de ensino que utilize os conhecimentos adquiridos com a instrumentalização computacional gerada na primeira vertente para a elaboração de estudos formais, conceituais e funcionais dentro de um atelier de projeto. Foi possível então relacionar tais conhecimentos de ordem instrumental com os problemas e condicionantes projetuais inerentes à disciplina de projeto, fazendo com que os conhecimentos obtidos de maneira abstrata fossem aplicados de maneira prática frente a um dado problema projetual.

Esta pesquisa foi realizada no curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre/RS. Foram analisadas as metodologias de ensino utilizadas nas disciplinas de Desenho Arquitetônico III (DA-III) e Projeto Arquitetônico II (PA-II), ministradas no 4º semestre do curso no período de 2017/1. Após esta análise, foi proposta uma estratégia de ensino correlacionando os conteúdos ministrados nas duas disciplinas durante o semestre de 2017/2. A pesquisa teve seu foco voltado para o grupo de alunos matriculados simultaneamente na disciplina de PA-II – Turma C e na disciplina de DA-III – Turma Única, o que limitou

⁴Conceito deriva do latim *conceptum* e significa tanto pensamento e ideia quanto fruto ou feto. *Concipere* engloba tanto o significado mais comum de gerar e conceber quanto as ações de reunir, conter, recolher, absorver, fecundar, exprimir ou apreender espiritualmente alguma coisa (BRANDÃO, 2001 p. 2).

o número de indivíduos estudados a 15, uma vez que este foi o número de alunos matriculados por turma na disciplina de PA-II durante o período estudado.

1.4 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Esta pesquisa possui um caráter qualitativo e propositivo uma vez que se interessa em compreender um fenômeno que acontece em um determinado grupo social, sem preocupação com a representatividade numérica ou estatística. A pesquisa qualitativa preocupa-se com aspectos da realidade que não podem ser quantificados, centrando-se na compreensão e explicação da dinâmica das relações sociais (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

David Nunan (1992) apresenta algumas características que são comumente atribuídas à pesquisa qualitativa:

- Defende o uso de métodos qualitativos;
- Preocupa-se em entender o comportamento humano a partir do próprio referencial dos sujeitos pesquisados;
- Possui observação naturalística e não-controlada;
- Abordagem subjetiva;
- Possui uma perspectiva próxima dos dados, de um ponto de vista “interno”;
- Possui caráter fundamentado, orientado para a descoberta, exploratório, expansionista, descritivo e indutivo;
- Orientado ao processo;
- Valida-se por seus dados reais, ricos e profundos;
- Não generalista: desenvolve-se a partir de estudos de caso únicos;
- Assume a realidade de um ponto de vista dinâmico.

Esta dissertação apresenta algumas das características elencadas por Nunan. Trata-se de uma investigação não-generalista, focada no processo didático e de caráter exploratório. Utiliza-se, por exemplo, de métodos de investigação qualitativos para compreender um determinado padrão de comportamento observado em um grupo de indivíduos para posteriormente realizar uma intervenção, com o intuito de

descobrir novas perspectivas para a resolução do problema analisado. Foi adotado como método a *pesquisa-ação educacional* uma vez que possui um caráter intervencionista, comprometido com uma possível mudança de um “*status quo*” observado em um contexto atual. Segundo Nunan (1992), é possível classificar uma pesquisa na categoria de pesquisa-ação se ela atender a um escopo dividido em sete partes:

1. Iniciação – Um problema é observado por um professor;
2. Investigação preliminar – Realiza-se uma investigação preliminar para entender a natureza do problema e seus possíveis motivos;
3. Hipótese – Uma hipótese é formulada como motivo do problema;
4. Intervenção – O professor, ou o pesquisador, elabora uma estratégia de intervenção;
5. Avaliação – Após a intervenção o pesquisador coleta os dados que o permite fazer inferências sobre a situação estudada;
6. Disseminação – A intervenção é relacionada com outros professores;
7. Continuação – O pesquisador procura outros meios de resolver o problema inicial.

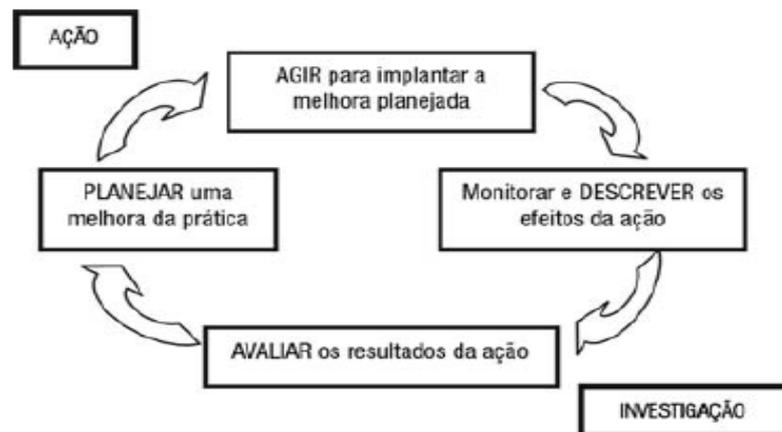
A pesquisa-ação educacional é uma estratégia que professores e pesquisadores adotam para aprimorar suas abordagens de ensino e consequentemente o aprendizado de seus alunos (TRIPP, 2005). Para Tripp, a pesquisa ação é um dos inúmeros tipos de investigação-ação. Investigação-ação por sua vez é um termo utilizado para qualquer processo que siga um ciclo no qual se aprimora a prática pela intermitência entre a ação prática e a investigação a respeito dela (TRIPP, 2005), como podemos observar na figura 4.

A pesquisa-ação possui como característica uma mudança na relação entre pesquisador e os indivíduos pesquisados uma vez que este tipo de estudo trata os sujeitos de pesquisa como parceiros do processo, colocando os participantes em situação de poder em vez de apenas usá-los (STRINGER, 2007). Nesta dissertação, esse último aspecto é muito importante, pois o caráter participativo e o engajamento dos alunos foram vitais para o seu êxito. De acordo com Stringer, são muitas as áreas que podem fazer uso dessa metodologia de pesquisa, entre elas:

- Educação;
- Assistência médica;
- Assistência social;
- Desenvolvimento organizacional;
- Arquitetura e planejamento.

O método da pesquisa-ação tem, portanto, afinidade com o tema desta pesquisa, pois tem seu foco voltado para a educação no âmbito da arquitetura. Entretanto, segundo Gil (2002) a pesquisa-ação é alvo de uma controvérsia no meio acadêmico devido à participação ativa do pesquisador sobre o fenômeno estudado. Entretanto, a despeito da crítica, esta modalidade de pesquisa é utilizada por pesquisadores com ideologias reformistas e participativas.

Figura 4: Representação em quatro fases do ciclo básico da investigação-ação.



Fonte: TRIPP, 2005

Conforme mencionado anteriormente, uma das motivações para a realização desta dissertação foi a percepção de certas dificuldades encontradas no corpo discente em criar, detalhar e representar graficamente formas complexas. Assim, foi realizada uma análise preliminar para compreender o que limitava os alunos a trabalharem com topologias convencionais, isto é, em sua maioria ortogonais e coplanares.

A partir desta percepção levantou-se a hipótese de que a escolha por formas ortogonais, ou mesmo a falta de interesse por trabalhar com formas mais complexas, poderia ocorrer pela falta de destreza dos alunos em elaborar tais formas, ou mesmo de representá-las graficamente nas etapas técnicas da disciplina de projeto. A partir desta hipótese estruturou-se uma intervenção pontual nas estratégias de ensino vinculadas às disciplinas analisadas com o intuito de fornecer subsídios aos alunos para que eles pudessem produzir seus projetos utilizando formas complexas. Ao final da intervenção foram coletados dados para análise do novo contexto e averiguar a eficácia da nova abordagem.

Esse trabalho foi supervisionado pelos professores das disciplinas envolvidas na pesquisa e espera-se que, após defesa da dissertação, ela tenha uma abrangência entre os demais interessados no assunto. Todavia, por questões práticas e temporais, não foi possível testar mais de uma solução para o problema observado, saindo do escopo apontado por Nunan.

Apresentou-se primeiramente uma sustentação teórica, na qual foi apontado um panorama geral adequado à análise e reflexão de questões levantadas na dissertação e pertinentes ao tema, de modo que fornecessem amparo para as abordagens propostas posteriormente. Analisou-se no período de um semestre o contexto atual das duas disciplinas citadas, uma de caráter instrumental e outra de caráter projetual, com o intuito de averiguar a influência que exercem entre si e com isso propuseram-se exercícios que tomassem partido das potencialidades observadas na interrelação entre as disciplinas, desse modo, tornando possível uma contribuição no aprendizado de novas maneiras de pensar o processo de projeto arquitetônico.

Com isso, pretendeu-se estimular nos alunos o interesse por trabalhar com diferentes topologias formais sem que encontrem resistência ou receio em explorar formas orgânicas ou complexas, uma vez que foi fornecido um ambiente seguro⁵, não só para a exploração dessas formas, como também para a representação gráfica e exequibilidade das mesmas.

Para atender a esta premissa, foram escolhidas duas disciplinas. A disciplina DA-III é a responsável pelo ensino de parte da instrumentalização computacional e

⁵Ambiente seguro aqui trata-se de um contexto pedagógico livre para explorações formais, fornecendo subsídios instrumentais e instrucionais para lidar com a criação e representação gráfica de geometrias complexas.

representação gráfica que o aluno adquire na faculdade e PA-II responsável por utilizar estes conhecimentos adquiridos na exploração dos partidos arquitetônicos. A escolha destas disciplinas ocorreu de modo estratégico. O curso de arquitetura da UFRGS encontra-se em um momento de transição entre a instrumentalização da plataforma CAD para a plataforma BIM, sendo, atualmente, DA-III uma das disciplinas que contribuem para esta transição. DA-III possui em seu histórico o caráter de ensinar representações híbridas, misturando habilidades manuais e digitais, além de buscar aprimorar a capacidade de análise e síntese projetual dos alunos.

Apenas recentemente a disciplina procurou trabalhar esta hibridização na representação gráfica com a plataforma BIM e softwares de modelagem algorítmica. Esta transição foi imprescindível para fornecer aos alunos a base necessária para que ocorra uma mudança real de paradigma, no modo como serão realizados os projetos de arquitetura nas disciplinas de projeto. Por outro lado, PA-II foi escolhida como disciplina de projeto a ser estudada por apresentar um programa pedagógico que possibilita a exploração conceitual abstrata dos símbolos e conceitos a serem utilizados na elaboração formal do partido arquitetônico. Assim se tornando um campo fértil para a utilização de ferramentas computacionais paramétricas na elaboração dos estudos da forma e na própria criação do partido geral relacionando-o com seu conceito. Atualmente a disciplina de PA-II, ministrada na turma C, possui uma ênfase mista, visando a produção da proposta projetual, utilizando a plataforma BIM, mas também sendo bastante incentivado o uso de técnicas manuais para a exploração de partidos conceituais como croquis e maquetes físicas.

Esta situação torna a disciplina supracitada, ideal para uma análise em primeira instância, abrindo a possibilidade de identificar como as mídias digitais podem contribuir para o aprimoramento do raciocínio cognitivo do aluno dentro do programa pedagógico proposto, e para a posterior intervenção didático-pedagógica.

Para ampliar a base teórica, foram analisadas as estratégias de ensino adotadas em outras universidades a partir da leitura de artigos e livros sobre estudos de caso e experiências realizadas nestas instituições com enfoque no tema, assim como em universidades brasileiras que apresentam resultados relevantes nesta abordagem. Com base nessas análises, esperou-se encontrar um arcabouço teórico-prático para a proposição de uma estratégia de ensino de projeto com ênfase na exploração conceitual e formal no ambiente digital.

Nos semestres analisados, a disciplina de DA-III possuía turma única com cerca de 45 alunos, enquanto PA-II estava dividida em três turmas com cerca de 15 alunos cada. Cada disciplina de PA-II apresenta temáticas e professores diferentes. Para a presente pesquisa optou-se por analisar apenas uma das turmas, por questões práticas e cronológicas.

Como resultado desta etapa, apresentaram-se os trabalhos feitos pelos alunos, assim como o processo que adotaram ao longo do semestre para sua conceituação formal que resultou na elaboração de partidos arquitetônicos com formas complexas e, posteriormente, as estratégias que empregaram em cada etapa de detalhamento e representação gráfica.

Nesta pesquisa, optou-se por entrevistas semiestruturadas (Apêndice A), realizadas por meio da plataforma “*google forms*”, além de registro fotográfico, audiovisual e de dados em cada etapa do trabalho realizado pelos alunos (com a devida autorização dos entrevistados, conforme Apêndice B). Tais procedimentos pretenderam mostrar não somente a evolução, mas também registrar qualquer dado que possa ser considerado relevante para a pesquisa. Com isso foi possível atestar, de fato, o caráter positivo na abordagem proposta quanto à elaboração do partido formal, seu detalhamento e representação gráfica.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada em cinco capítulos, conforme descritos a seguir: O primeiro tem caráter introdutório, apresentando o problema de pesquisa que se pretende analisar, delimitando-o para aprofundamento e discussões. Apresenta o objetivo geral e específicos, além da abordagem metodológica usada na investigação das questões pertinentes ao problema.

O segundo capítulo trata de apresentar uma base teórica e estabelecer definições para questões relevantes ao tema, apresentando um breve histórico evolutivo das ferramentas computacionais que levaram ao surgimento do design paramétrico, o que possibilitou a criação de arquiteturas paramétricas. Posteriormente aponta definições acerca do design generativo, apresentando os conceitos que o definem como estratégia de exploração projetual e, por fim, apresenta um breve

histórico da plataforma BIM desde o seu surgimento até suas limitações e potencialidades.

O terceiro apresenta a estrutura pedagógica das disciplinas que foram trabalhadas no experimento didático. Começando pela disciplina de DA-III e depois a de PA-II onde foi proposta a estratégia de ensino, objeto de estudo desta dissertação. Apresenta ainda alguns conceitos teóricos utilizados para a elaboração das intervenções realizadas nas disciplinas. Finalizando este capítulo foram propostos exercícios e atividades que possibilitaram a relação entre os conceitos e conhecimentos adquiridos em DA-III e a realização de explorações formais e conceituais dos alunos na disciplina de PA-II a fim de verificar os resultados da estratégia de ensino proposta.

O quarto capítulo apresenta uma discussão e análise de dados acerca dos resultados obtidos com a intervenção. Foram apresentadas as respostas das entrevistas semiestruturadas de modo contextualizado assim como os trabalhos dos alunos que se tornaram alvo das abordagens empreendidas.

O quinto e último capítulo apresenta as considerações finais do trabalho, assim como possíveis desdobramentos ou aprofundamentos para a realização de futuros estudos que possam aproveitar-se do tema trabalhado.

2 ARQUITETURAS COMPUTACIONAIS: UM BREVE HISTÓRICO

A arquitetura é um ofício que nasceu na pré-história do homem moderno (CHING, JARZOMBEC e PRAKASH, 2011), quando houve a necessidade do ser humano se proteger dos perigos externos e intempéries, ao mesmo tempo em que os abrigos naturais já não mais atendiam as necessidades básicas do indivíduo. Dessa forma, o ser humano recorreu à “reorganização intencional do ambiente, delimitando espaços habitáveis não-naturais e suprimindo deficiências do ambiente natural” (CATTANI, 2006, p.2) recorrendo, portanto, à construção de abrigos protegidos. A resposta a tais necessidades, que assumia funções cada vez mais complexas, sintetizava-se na Arquitetura. Pode-se notar, portanto, uma íntima relação entre o caráter funcional e pragmático do ofício arquitetônico.

Na arquitetura vernacular, por exemplo, o ato de projetar está diretamente associado ao fazer (LAWSON, 2011). Não existe para um esquimó, ou para um índio tupi-guarani, um projeto de arquitetura que antecede a construção de suas habitações. O que existe é um conhecimento construtivo aprimorado e adaptado por anos, passado de geração a geração, que culminou em uma determinada maneira de construir. Na antiguidade não havia uma diferenciação clara entre o projetista e o construtor. O papel do arquiteto, todavia, como responsável apenas pelo planejamento construtivo e espacial das edificações, consolidou-se somente no século XV, durante o período do Renascimento. De acordo com Pereira (2009), a figura do arquiteto moderno foi se distanciando pouco a pouco da posição do artesão-construtor a partir da descoberta de novas formas de representação gráfica, encarregando-se, então, da função de desenhar e planejar a edificação, e deixando as questões estruturais, quantitativas ou construtivas, para encargo de outros profissionais.

Leon Batista Alberti (1404-1472) foi quem definiu o conceito moderno da profissão do arquiteto. Segundo ele, em seu tratado *De Re Aedificatoria*, publicado entre 1443 e 1452, o arquiteto seria:

Aquele que, com razão e preceito seguros e maravilhosos, sabe em primeiro lugar como dividir as coisas com sua mente e inteligência e, em segundo, como, ao levar a cabo sua tarefa, colocar corretamente juntos todos aqueles materiais que, pelo movimento dos pesos e a associação e acúmulo dos corpos, podem servir com sucesso e dignidade às necessidades do homem (ALBERTI, apud BLUNT, 2001).

Com isso Alberti define a separação entre projetar e construir no ofício da arquitetura configurando dessa forma o “paradigma Albertiano” (CARPO, 2011).

As técnicas de representação gráfica, referidas anteriormente, foram sistematizadas por Filippo Brunelleschi por volta de 1410 quando elaborou os meios matemáticos para a reprodução do efeito da aparente diminuição dos objetos conforme a distância com o desenho em perspectiva. Assim ele tornou possível a redução da realidade a uma ordem matemática, na qual a arquitetura dependeria de um esquema geométrico prévio. A partir daí foi possível expandir os limites dos projetos por meio da pré-visualização do edifício, o que ampliou as possibilidades de elaboração do projeto antes de sua execução (PEREIRA, 2009).

As representações arquitetônicas passaram ainda por momentos-chave na história de sua evolução. Segundo Cattani (2017), os principais eventos ocorridos a partir dessa época, associados à história do desenho de arquitetura, são a já citada sistematização da representação em perspectiva cônica por Filippo Brunelleschi (1377-1446) e Leon Battista Alberti (1404-1472), a sistematização da geometria projetiva por Gérard Desargues (1591-1662), a sistematização da geometria descritiva por Gaspard Monge (1746-1818), a sistematização da representação em perspectiva isométrica por William Farish (1759-1837) e posteriormente por Auguste Choisy (1841-1909).

Cada uma destas sistematizações permitiu que os projetos de arquitetura ganhassem uma abordagem mais técnica e científica e contribuiu para que o ofício da arquitetura se estabelecesse nos moldes como é conhecida atualmente. É importante lembrar que não se trata necessariamente de descobertas de sistemas de representação em arquitetura, mas sim a reunião de conhecimentos diversos e desconexos e a sua conseqüente sistematização, o que representa o grande mérito dos pontos acima elencados.

Pode-se notar que, uma vez sistematizados os novos métodos de representação gráfica, os projetos de arquitetura assim como a maneira de serem concebidos dão um salto evolutivo considerável. Desde a descoberta das formas

geométricas primitivas, do teorema de Pitágoras até o uso das perspectivas arquitetônicas, cônicas ou isométricas, a cada evolução alcançada na representação gráfica a arquitetura, assim como o seu modo de ser concebida, acompanha essa transformação. É possível também relacionar a sociedade em cada época com as tecnologias por elas desenvolvidas. Fazendo um levantamento histórico pode-se perceber que boa parte dos saltos tecnológicos aconteceu em momento e ambiente propícios. Pode-se afirmar, contudo, que não existe uma hierarquia de causa e efeito que relacione a evolução da sociedade e a evolução tecnológica, um pode anteceder o outro ou vice e versa.

A partir do momento em que surge uma nova tecnologia, esta, por sua vez pode causar profundos impactos e mudanças no comportamento de toda uma sociedade. Assim ocorreu na Revolução Industrial e também na Revolução Digital. Contudo, as transformações na sociedade também podem suscitar inovações tecnológicas que acabam criando um ciclo evolutivo entre sociedade e tecnologia.

No que concerne à tecnologia aplicada à arquitetura, pode-se afirmar que o uso de instrumentos de auxílio ao desenho ou à construção de formas geométricas pode ser considerado uma forma rudimentar de computação, uma vez que trata da execução de cálculos com a utilização de uma ferramenta ou máquina (JUNG, 2014). Pode-se afirmar que a computação aplicada na arquitetura existe desde a época em que foram executadas as primeiras figuras geométricas com o auxílio de instrumentos de desenho para a realização de projetos em obras milenares como a Grande Muralha da China, os templos gregos ou as pirâmides do Egito (JUNG, 2014).

Obviamente que ao empregar o termo computação nessa dissertação é preciso atentar ao seu significado quanto à utilização de computadores eletrônicos na execução de tarefas e atividades diversas. Por isso, ao falar em arquiteturas computacionais, para efeitos de definição, nos referimos ao uso de computadores para a realização do ato projetual, assim como a representação gráfica das ideias oriundas deste ato.

O que está sendo referido é o computador como ambiente e não apenas como instrumento de auxílio à elaboração de projeto. A arquitetura computacional aqui referida também vai além da livre manipulação da forma com o auxílio de ferramentas computacionais única e exclusivamente para dar vazão à intenção criativa de seu

autor. Manipular formas complexas em *software* de modelagem não representa, por si só, mudanças efetivas no paradigma projetual, porque a lógica de projeto, nestes casos, permanece intocada (NATIVIDADE & VENTURA, 2009).

Diante deste contexto, fazendo-se um paralelo, a perspectiva científica está para o período renascentista assim como a ferramenta computacional está para o período contemporâneo, ambos nasceram como ferramentas de auxílio à representação gráfica arquitetônica, porém, em pouco tempo começaram a influenciar a própria maneira de conceber a arquitetura.

2.1 HISTÓRIA DA PLATAFORMA CAD

O conceito de *Computer Aided Design* (CAD) refere-se ao uso da ferramenta computacional na elaboração, modificação ou aprimoramento no processo de projeto (BESANT e LUI, 1986 apud POLONINI 2014). O cenário propício para sua origem ocorreu na década de 1950, caracterizado por dois importantes fatores: o primeiro fator trata do advento do processo de automação industrial com a utilização de máquinas de Controle Numérico (CN) na fabricação automatizada de elementos tridimensionais. O segundo fator foi o surgimento das interfaces gráficas computadorizadas. Existia naquela época a necessidade de traduzir formas geométricas em uma linguagem de dados que fosse interpretada pelo computador e executada pela máquina CN. Eram usadas fitas de papel perfuradas para transmitir o comando de movimento desejado para a máquina se posicionar em um ponto específico do espaço tridimensional (WEISBERG, 2008).

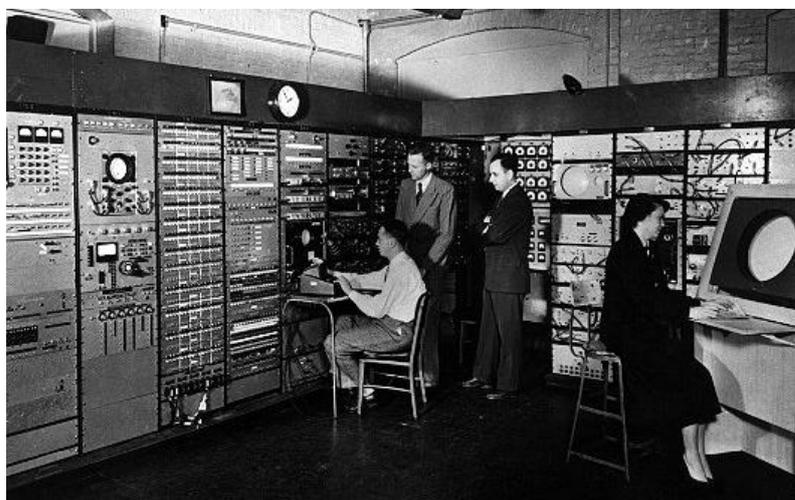
O trabalho de gerar as fitas de papel perfuradas era, até então, executado manualmente, o que aumentava consideravelmente a probabilidade de ocorrerem falhas no processo (MITCHELL, 2006). Ademais, o tempo necessário para a produção destas fitas de modo manual prejudicava a viabilidade econômica do uso destas máquinas de controle numérico. Percebeu-se com o tempo que a função exercida pelo programador, transformando formas geométricas em dados numéricos, poderia facilmente ser executada por um computador, permitindo que o usuário pudesse apenas inserir as tais formas e que esta tradução em dados acontecesse com o poder de processamento da ferramenta computacional, assim desenvolveram-se as

interfaces gráficas computadorizadas, que permitiram a visualização e tradução de formas geométricas para dados numéricos inseridos no computador.

2.1.1 EVOLUÇÃO DO HARDWARE

O primeiro dispositivo a apresentar essa interface gráfica e fazer a automação do processo de tradução de formas geométricas para dados numéricos foi o *Whirlwind I*, desenvolvido pelo *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, na década de 1950, com finalidades acadêmicas, ocupando uma área de mais de 230m² (figura 5). Posteriormente, em 1955, o computador *Whirlwind I* evoluiu para o projeto denominado *Semi-Automatic Ground Environment (SAGE)*, o primeiro sistema que convertia informações de radar em imagens para monitoramento e controle de voo (MANSSOUR & COHEN, 2007). O conceito de interface gráfica, assim como a tradução de dados em imagens e formas geométricas, estava criado.

Figura 5: Whirlwind I Computer



Fonte: <http://www.computerhistory.org/revolution/real-time-computing/6/123>

Faltava, contudo, a capacidade da criação de formas geométricas pelo usuário de modo interativo com o uso da interface gráfica. Esta possibilidade foi alcançada com a modelagem geométrica digital. A modelagem permitiu a descrição matemática da forma, representando com precisão o objeto (MORTENSON, 1997, apud VETTORETTI, 2010).

A modelagem geométrica digital nada mais é que a representação executada por ferramentas digitais computacionais, e só foi possível com o surgimento da computação gráfica aliada às tecnologias de CAD e CAM (*Computer Aided Manufacture*).

2.1.2 EVOLUÇÃO DO SOFTWARE

Em 1963 foi criado o primeiro programa de interface interativa que permitia a modelagem geométrica digital de volumes, o *Sketchpad*. O programa foi desenvolvido como tese de doutorado de Ivan E. Sutherland, no MIT, com o título: *SKETCHPAD: a Man-Machine Graphical Communication System* (MONTAGU, 1993).

A interação entre homem e computador para elaboração dos desenhos ocorria com a utilização de uma caneta óptica e um conjunto de cerca de 40 botões e interruptores que instruíam o computador a interpretar o movimento da caneta de maneiras diferentes (WILLS, 2014), como mostrado na figura 6.

Figura 6: Ivan Sutherland e o Sketchpad



Fonte: <http://history-computer.com/ModernComputer/Software/Sketchpad.html>

O Sketchpad é considerado o primeiro *software* CAD, pois foi esse sistema que permitiu ao usuário a produção de formas geométricas com interação em tempo real e simultânea tradução destas formas em dados numéricos pelo computador, tornando possível a utilização da ferramenta computacional para a área de representação gráfica e projeto.

Em 1963, Timothy Johnson, um pesquisador assistente que trabalhava no projeto CAD, patrocinado pelas forças aéreas americanas, desenvolveu uma versão tridimensional do Sketchpad, chamada de Sketchpad III, o primeiro sistema gráfico computacional a implementar vistas ortográficas de um objeto junto com uma vista perspectiva do mesmo (WEISBERG, 2008). Foi a partir deste momento que se começou a vislumbrar as potenciais aplicações desta plataforma na arquitetura e na engenharia civil (MITCHELL, 2006).

O uso plataforma CAD em seus primórdios não se direcionou, no entanto, aos profissionais da área de construção civil, porque era muito custoso ter a estrutura computacional necessária para atender a demanda de processamento que os programas em CAD necessitavam. De fato, o computador até aquele momento era um equipamento restrito ao setor industrial, pois eram os únicos que possuíam recursos financeiros para investir nos *hardwares*, *softwares* e na formação ou contratação de profissionais especializados para desenvolverem ou manipularem os *softwares*, e estes normalmente eram produzidos especificamente para aplicação direcionada à própria indústria (POLONINI, 2014).

Os primeiros interessados na tecnologia CAD foram algumas companhias industriais de grande porte, como a *Bendix*, a *General Electric*, a *General Motors* e a *Boeing*, entre outros. Alguns deles já vinham acompanhando e contribuindo para a evolução destas plataformas desde o surgimento do *Whirlwind I*.

A primeira versão de CAD disponibilizada comercialmente foi o DAC-1, desenvolvido pelo *International Business Machines (IBM)*. A sigla DAC significa "*Design Augmented by Computers*". O software foi criado para ser utilizado pela *General Motors* com o intuito de aprimorar o design e a fabricação de carros. Para tornar o fluxo de trabalho viável, a IBM e a General Motors uniram-se em uma parceria de trabalho multimilionária para desenvolver uma configuração de hardware compatível para o DAC-1 (WEISBERG, 2008).

2.1.3 EVOLUÇÃO DA COMPUTAÇÃO GRÁFICA

Na década de 1970 intensificaram-se as pesquisas na plataforma CAD em duas frentes de pesquisa, uma encabeçada pelas indústrias mecânica, aeronáutica e automobilística e a outra encabeçada pela indústria da construção civil, gerando assim duas categorias de ferramentas CAD.

A primeira categoria tratava do desenvolvimento de programas gráficos e tinha um caráter mais genérico, com algoritmos passíveis de serem usados em diferentes áreas. A segunda categoria era derivada da segunda frente de pesquisa e tratava de programas dedicados a áreas de conhecimento específicas, recebendo aporte financeiro da indústria da construção (POLONINI, 2014).

Por suas características específicas e aspirações de design, foram as indústrias automobilística e aeronáutica que fizeram avançar cada vez mais as fronteiras da plataforma CAD na década de 1970. Mesmo no *Sketchpad III*, no qual era possível desenhar objetos tridimensionais, isso era feito a partir de linhas e pontos em *wireframe* (armação de arame, em tradução livre) representando apenas os limites das formas. Não era possível, contudo, a geração de superfícies contínuas.

Um dos primeiros avanços em técnicas matemáticas para descrição de superfícies foi apresentado por Steven Coons no MIT, ainda em 1960. Outro trabalho a ser citado, ainda mais prematuro, foi o estudo realizado por Paul de Casteljau para a *Citroën*, em 1958, e somente divulgado em 1974 quando outros núcleos de pesquisa já estavam empenhados e avançados na implementação de novas técnicas matemáticas para a descrição de superfícies (WEISBERG, 2008).

Em 1972, a Renault desenvolve o sistema UNISURF baseado nos estudos realizados por Pierre Bézier para definição matemática de superfícies. A UNISURF posteriormente tornou-se uma parte importante do *software* CATIA, produzido pela *Dassault Systèmes*. O sistema de descrição para curvas e superfícies desenvolvidos por Bézier é bastante consistente e utilizado até os dias de hoje por uma boa gama de *softwares* gráficos.

Em 1973 Richard Riesenfeld apresenta uma nova abordagem para cálculos matemáticos de superfícies para sua tese de doutorado chamada B-Splines baseado

nos conceitos teóricos elaborados por Schoenberg, De Boor, Cox e Mansfield. Posteriormente, em 1975, Ken Versprille estava elaborando a definição de “rational B-Splines”. Sua tese de doutorado continha o primeiro relato escrito do conceito *Non Uniform Rational B-Splines* (NURBS) (PIEGL, 1991). O surgimento da tecnologia NURBS foi de vital importância para o avanço da modelagem geométrica. David Rogers, professor na academia naval dos Estados Unidos, endossa essa importância com a seguinte afirmação:

Com NURBS o sistema de modelagem pode usar uma simples representação interna em uma ampla variedade de curvas e superfícies, de linhas retas e superfícies planas para círculos e esferas precisas assim como superfícies esculpidas por partes intrincadas. Além do mais, NURBS permitem que estes elementos sejam facilmente ocultados dentro de uma superfície mais geral esculpida. Esta única característica do NURBS é a chave para o desenvolvimento de um sistema de modelagem robusto, seja para o desenho auxiliado por computador de automóveis, aeronaves, navios, sapatos, embalagens de xampus, etc... ou para um personagem animado na última produção de Hollywood (DAVID ROGERS apud WEISBERG, 2006, p 2-12 Tradução nossa).

Paralelamente à evolução da modelagem de superfícies, havia pesquisas desde a década de 1960 orientadas à modelagem de sólidos⁶. O primeiro *software* comercial a trabalhar com este conceito chamava-se *SynthaVision*, produzido pela MAGI em 1972. O programa trabalhava com sólidos primitivos e ficou conhecido por sua aplicação no filme *TRON*, produzido pela *Walt Disney* (WEISBERG, 2008).

Em 1973 Ian Braid, do grupo de pesquisa CAD no laboratório computacional de Cambridge, apresenta o sistema *Build-1*, um sistema de sólidos geométricos que usava a lógica booleana, com representações em tons de cinza e desenhos com linhas escondidas (*hidden lines*). Em 1974 o grupo de pesquisa que Braid fazia parte fundou uma empresa de tecnologia chamada *Shape Data*, e deram prosseguimento às pesquisas lançando em 1978 o primeiro sistema comercial da indústria de núcleo operado com modelagem sólida, chamado *Romulus*, com o qual a modelagem adotava uma linha de abordagem de superfícies limitantes (*Boundary Representation*

⁶A expressão ‘modelagem de sólidos’ engloba técnicas e sistemas de representação de sólidos que permitem que qualquer propriedade geométrica bem definida de um determinado objeto representado possa ser calculada (REQUICHA e VOELCKER, 1982).

ou *B-rep*). Posteriormente, a *Shape Data* foi incorporada pela *Evans & Sutherland*, a empresa formada por Ivan Sutherland e David Evans em 1981 (WEISBERG, 2008; REQUICHA e VOELCKER, 1982).

Enquanto isso, Ari Requicha e Herbert Voelcker investiam em uma abordagem da Geometria Sólida Construída (*Constructive Solid Geometry* ou CSG) combinada com técnicas B-rep no sistema de modelagem chamado *Part & Assembly Description Language* (PADL-1), em 1976, seguido posteriormente do PADL-2, em 1981. As pesquisas a respeito da representação geométrica de sólidos e superfícies a partir de descrições matemáticas da forma para uso em computação gráfica deram origem a uma área de pesquisa denominada *Computer Aided Geometric Design* (CAGD), expressão cunhada por Robert Barnhill e Richard Riesenfeld que organizaram uma conferência em Utah, em 1974, utilizando o mesmo nome (FARIN, 2002).

Pode-se perceber, portanto, que durante a década de 1970 houve um contínuo aprimoramento e relevantes pesquisas para novas formas de representação gráfica tridimensional, expressas por descrições matemáticas. Houve também nesse período uma evolução considerável nos métodos de construção de superfícies tridimensionais assim como nas suas formas de representação, abrindo espaço para construção de formas curvilíneas complexas no ambiente virtual.

2.1.4 POPULARIZAÇÃO DE HARDWARE E SOFTWARE

A década de 1980 foi marcada pela aproximação das plataformas CAD com o mercado consumidor mais abrangente, incluindo os escritórios de arquitetura e de engenharia, entre outras áreas. Isso foi possível graças ao surgimento do conceito de *Personal Computer* (PC), lançado no mercado pela IBM e pela Apple na primeira metade dos anos 1980 (figuras 7 e 8). O conceito de computador pessoal foi consolidado a partir do momento em que a tecnologia avançou no sentido de diminuir o custo e o tamanho dos *hardwares*. Isso foi possível com o advento dos microprocessadores e do avanço da microeletrônica e também com o surgimento da indústria de *softwares* que desenvolviam programas a serem executados nestes computadores.

Uma vez que o consumidor final do aparato computacional era o indivíduo comum, sem formação ou capacitação específica em programação, os pacotes de *softwares* produzidos para esses computadores contavam com uma interface mais amistosa possibilitando assim a disseminação de inúmeros *softwares* e plataformas computacionais, como o próprio CAD, para o consumidor comum. Nesse sentido, é importante destacar o modelo de computador pessoal *Macintosh* desenvolvido pela *Apple* em 1984 que apresentava uma interface mais intuitiva, com o uso de ícones e janelas, sistema que utilizamos até hoje, além de contar com o mouse como periférico, permitindo a interação com elementos WIMP (*Windows, icons, menus and pointer*) (WILLS, 2014) ampliando assim a capacidade de *input* de dados gráficos pelo usuário.

Figura 7: IBM Model 5150



Fonte: <http://www.computerhistory.org/timeline/1981/>

Figura 8: Apple Macintosh



Fonte: <http://www.computerhistory.org/timeline/1984/>

Durante este período, os softwares CAD utilizados na área de arquitetura e construção civil possuíam um caráter genérico. Ou seja, não eram produzidos com características específicas para estas áreas, pois naquele momento o mercado consumidor, os escritórios de arquitetura, ainda não havia se consolidado e a tecnologia CAD apenas recentemente estava se espalhando entre estes profissionais. Os primeiros softwares CAD usados no início da década de 1980 eram baseados nos mesmos princípios nos quais era baseado o *Sketchpad* de Ivan Sutherland (NATIVIDADE, 2010).

Enquanto a década de 1970 foi marcada pelo desenvolvimento de novas maneiras de construir e representar superfícies tridimensionais, durante a década de 1980 houve muita pesquisa sobre o que fazer com estas superfícies. Uma vez que o desafio da representação virtual de formas complexas estava parcialmente superado, diversas áreas profissionais começaram a explorar o que poderia ser construído com

ela. A partir daí diversos teóricos na área da arquitetura passaram a fazer experimentações formais com esta nova tecnologia. Entre eles destacam-se Greg Lynn, Marcos Novak, John Frazer, William Mitchell, Peter Eisenman (NATIVIDADE, 2010).

Mesmo sem apresentar recursos direcionados para qualquer área de atuação específica, no final da década de 1980 e início da década de 1990 o uso da plataforma CAD, com intuito de desempenhar a representação gráfica do projeto arquitetônico, se consolidou nos escritórios de arquitetura, substituindo o desenho de prancheta pelo desenho computacional. Com isso a ocupação do desenhista começa a entrar em acentuado declínio enquanto uma nova ocupação surge no mercado profissional, o cadista, um desenhista especialista na plataforma CAD. Este profissional estaria envolvido na produção do projeto por seu conhecimento do ambiente de representação gráfica, mesmo que não tenha todos os domínios dos fundamentos gráficos e dos pormenores do processo de projeto arquitetônico (JUNG, 2014).

No final da década de 1980 as vendas de *softwares* CAD tiveram um aumento exponencial. Desde sua criação até o ano de 1987, aproximadamente 100.000 cópias de *softwares* CAD foram vendidas, assim como equipamentos de suporte. Apenas cinco anos depois, com as versões de *softwares* CAD para PC, os revendedores venderam uma quantidade praticamente similar ao que já havia sido vendido até então (WEISBERG, 2008).

Nos dias de hoje as plataformas CAD estão disseminadas em quase todos os escritórios de arquitetura. Para que essa plataforma chegasse ao uso cotidiano que se pode observar, foi necessária a superação de duas condicionantes primordiais da tecnologia computacional: os *hardwares* se tornarem mais acessíveis financeiramente, menores e terem um maior poder de processamento, e os *softwares* tornarem-se direcionados para a elaboração de projetos, possuindo uma interface mais amigável não direcionada para programadores e sim para profissionais da área de arquitetura e engenharia.

2.1.5 ARQUITETURAS COMPUTACIONAIS CONSTRUÍDAS

Na década de 1990 estes condicionantes já não configuravam mais uma barreira; cada vez mais os computadores pessoais estavam presentes nos escritórios de arquitetura e as empresas de *softwares* começavam a ver o potencial de rentabilidade deste mercado consumidor, produzindo produtos direcionados para esta área de atuação.

Como mencionado anteriormente, já nos anos 1980 começou-se a pesquisar a possibilidade de explorações formais com a ferramenta computacional. Contudo, a maioria destes estudos tinha caráter teórico e acadêmico, não possuíam à priori o compromisso com a exequibilidade das propostas desenvolvidas (NATIVIDADE, 2010).

Enquanto isso, nos escritórios de arquitetura que já haviam adotado a plataforma CAD como ferramenta de representação gráfica alguns profissionais já começavam a vislumbrar a possibilidade de utilizar a ferramenta computacional para além da simples função de representação projetual, como auxílio no raciocínio de projeto.

Até a década de 1990 já havia, portanto, explorações consistentes em geração de formas complexas aplicadas a arquitetura no ambiente digital. Entretanto, ainda havia a barreira de trazer estas formas complexas para o ambiente construído. Além disso, havia o desafio de documentar, detalhar e simplificar estas formas complexas, assim como descobrir novas maneiras de representá-las para possibilitar sua construção (NATIVIDADE, 2010).

Segundo Kolarevic et al. (2003), Mitchell (2006) e Oxman (2008), Frank Gehry foi o grande expoente do uso de ferramentas digitais no processo de projeto utilizando formas complexas. Sua Escultura do Peixe para a Vila Olímpica de Barcelona, em 1992, foi uma das primeiras obras construídas com formas complexas, em que foram aplicadas as novas ferramentas CAD. Este projeto é um grande marco para a arquitetura digital, pois foi a partir dele que se eliminou o vazio conceitual entre a elaboração de formas complexas no mundo virtual, a documentação e a execução destas formas no mundo físico, utilizando a própria ferramenta computacional e o ambiente virtual como viabilizadores da construção.

Foram vários os desafios para que a Escultura do Peixe fosse edificada em Barcelona. O primeiro programa a ser utilizado para o modelagem da forma empregada na escultura chamava-se *Alias* (CANEPARO, 2014). Este *software* mostrou-se apto para comportar a forma desejada pelo arquiteto, mas não tinha a capacidade de interpretar as superfícies geradas e fornecer dados que possibilitassem sua construção, logo, sem essa conversão entre formas e dados, o *software* se mostrou limitado para a execução física das formas estudadas por Gehry.

Com isso, o escritório de Gehry passou a procurar em outras áreas da indústria um sistema de modelagem CAD que satisfizesse não somente a necessidade de modelar superfícies complexas, como também analisar, planificar e documentar, possibilitando assim sua fabricação e posterior montagem na edificação.

Foi na indústria aeronáutica que Gehry encontrou a ferramenta que necessitava. A Boeing, companhia de tecnologia aeroespacial, usava um *software* chamado CATIA, produzido pela Dassault Systèmes para projetar e executar o Mirage Fighter, uma das primeiras aeronaves projetadas, desenvolvidas e executadas com a utilização do sistema CAD-CAM (CANEPARO, 2014).

O *software* CATIA permitia a definição das formas modeladas por equações paramétricas, por este motivo as superfícies geradas no programa poderiam ser usadas para orientar a fabricação dos componentes em chapas metálicas com a utilização de máquinas NC (*Numerical Control*) (POLONINI, 2014).

Figura 9: Modelo virtual da escultura do peixe

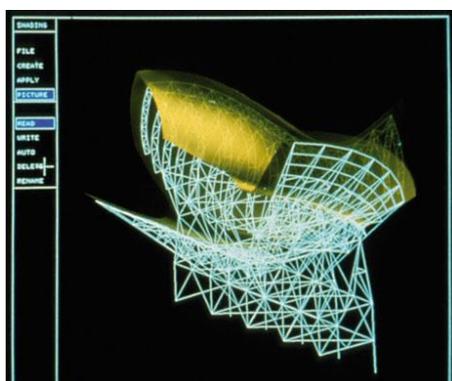


Figura 10: Modelo físico da escultura do peixe



Fonte: CANEPARO, 2014

A execução da Escultura de Peixe forneceu ao escritório de Frank Gehry o conhecimento e meios necessários para que fosse possível a construção do museu Guggenheim em Bilbao (1992-1997), uma obra de maior grau de complexidade volumétrica e programática. Foi a partir deste momento que a arquitetura digital ganhou reconhecimento e se consolidou no cenário mundial (NATIVIDADE, 2010).

Outra questão relevante é observar que anteriormente ao projeto da Escultura do Peixe o escritório de Gehry estava envolvido na elaboração do projeto para o *Walt Disney Concert Hall* (1989-1990). Naquela época, no entanto, o escritório ainda utilizava uma abordagem manual na modelagem de geometrias complexas, usando um vocabulário de elementos de superfícies euclidianas (SHELDEN, 2002 apud NATIVIDADE 2010), e encontrando, desse modo, grandes dificuldades e limitações para a elaboração do projeto.

Por conta destas dificuldades, uma equipe de engenheiros aeroespaciais franceses, que trabalhavam no jato *Mirage*, foi chamada para auxiliar em um primeiro momento na concepção do projeto junto a equipe de Gehry. Foram eles que produziram o modelo digital do painel de pedra curvo no exterior do edifício. Entretanto, mesmo que tenham conseguido comprovar a exequibilidade das formas complexas, propostas no projeto, o custo da construção mostrou-se inviável (NATIVIDADE, 2010).

O projeto do *Walt Disney Concert Hall* foi retomado em 1998. Nessa época o escritório de Gehry já havia executado com êxito dois projetos com elevado grau de complexidade formal: a Escultura do Peixe, em Barcelona, e o museu Guggenheim, em Bilbao, munindo o escritório dos conhecimentos necessários para a retomada deste projeto. Dessa vez, porém, utilizando mídias digitais para a simulação e representação gráfica.

É interessante notar que para alcançar um objetivo formal o escritório de Frank Gehry precisou buscar ferramentas que dessem suporte a esta ambição projetual tão específica. Esta intenção foi a catalisadora da inovação tecnológica apropriando-se de uma tecnologia até então não pensada para a produção arquitetônica. Portanto, a intenção projetual, neste caso, inspirou a busca por inovação tecnológica. Contudo, por vezes são as inovações tecnológicas que inspiram a busca por explorações projetuais em arquitetura e design.

Com a construção do museu Guggenheim de Bilbao muitos arquitetos voltaram sua atenção para as possibilidades de criação dentro do ambiente computacional e, depois, construído no mundo real. O potencial das ferramentas digitais aplicadas ao processo de projeto tornou-se foco de arquitetos e pesquisadores que buscavam novas metodologias para sua aplicação no campo profissional, impulsionando o desenvolvimento teórico e prático das arquiteturas computacionais/digitais (NATIVIDADE, 2010).

2.1.6 COMPUTADOR COMO AMBIENTE PROJETUAL

Nos últimos 15 anos, começaram a se tornar mais proeminentes as primeiras investigações que utilizam o conceito de design paramétrico e design generativo na elaboração de projetos de arquitetura (VELOSO, SCHEEREN e VASCONCELOS, 2017). Neste ponto podemos considerar que há uma consolidação do ambiente computacional como ferramenta, meio e método da ação projetual. Assim, nos encontramos diante do que Natividade (2010) nomeia como fraturas metodológicas. A autora identifica as tecnologias paramétricas e algorítmicas como técnicas essencialmente digitais, influenciando a prática projetual em todo o mundo.

Em resumo, é possível notar como a evolução das ferramentas computacionais e de computação gráfica voltadas à arquitetura convergiram ao ponto em que está hoje traçando uma linha do tempo analítica e outra sintética, como nas figuras 11 e 12 abaixo:

Figura 11: Linha do tempo analítica

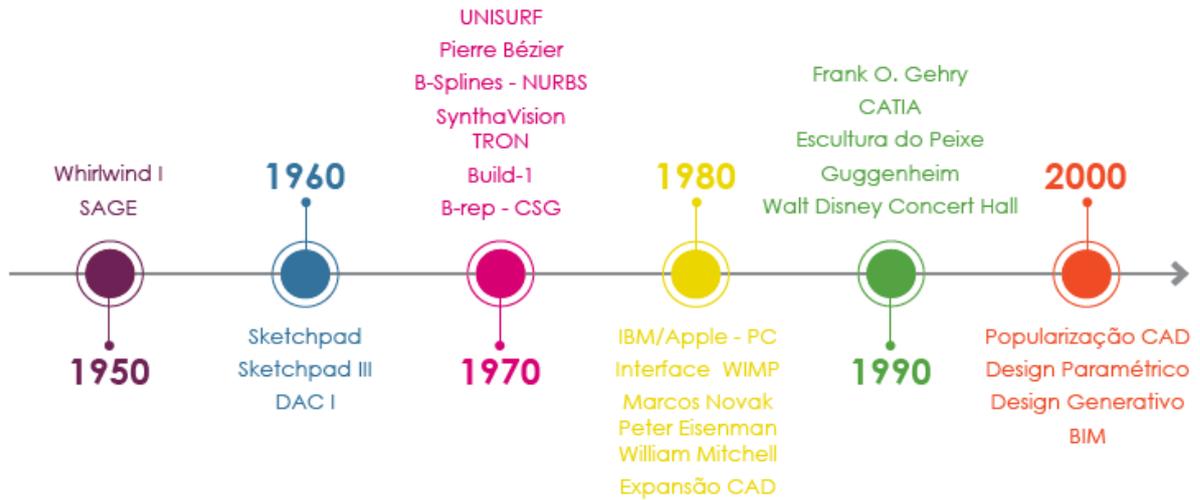
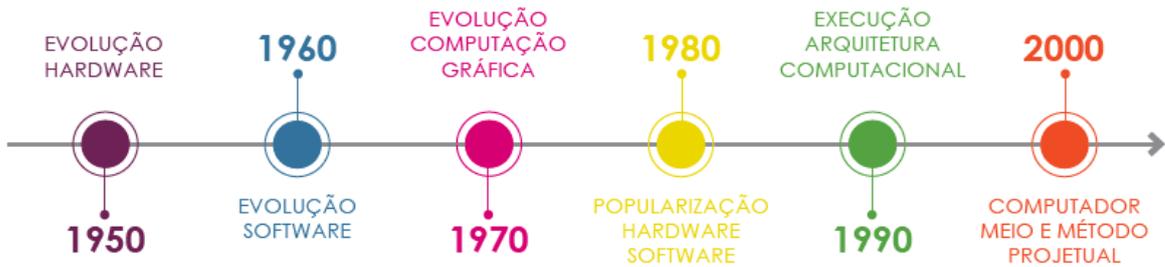


Figura 12: Linha do tempo sintética



Fonte figuras 11 e 12: Elaborado pelo autor, 2018

Estas linhas do tempo permitem clarificar a evolução cronológica e sequencial da ferramenta computacional e da computação gráfica. Os fundamentos tecnológicos estabelecidos a partir dos anos 1950 constituem a base da maioria dos sistemas computacionais utilizados por profissionais da arquitetura e do design nos dias atuais, incluindo os sistemas que operam o design paramétrico, o design generativo e a plataforma BIM.

Atualmente nos encontramos diante das arquiteturas computacionais, ou seja, arquiteturas realizadas inteiramente dentro do ambiente digital, ou que pelo menos dependem da computação para serem elaboradas. Ao explicar o conceito de “Computational Design”, Gabriela Celani (2002) argumenta que o termo computação pode ser considerado, de acordo com o *Webster’s New World Dictionary*, como sinônimo de cálculo, podendo ter três diferentes significados (CELANI, 2002):

1 – Encontrar alguma solução com o uso da matemática (simplesmente aritmética no caso da computação):

A partir dessa definição Celani (2002) entende que mesmo que aritmética trabalhe usualmente com números o design computacional deveria incluir a síntese de formas geométricas por meio da computação.

2 – Encontrar soluções utilizando raciocínio, estimar:

Para a autora, no design computacional as composições não deveriam ser óbvias, mas organizadas de acordo com alguma lógica oculta que torne sua interpretação dependente de um raciocínio ou inferência sobre o projeto.

3 – Planejar ou intentar, pretender:

Nesse caso, o entendimento da autora é de que o design (ou arquitetura) computacional não deve acontecer por acidente. Tal qual o projeto de um algoritmo ou um projeto baseado em regras, o design computacional deve ser cuidadosamente planejado e deve levar a formas surpreendentes, porém como resultado de regras definidas intencionalmente *a priori* (CELANI, 2002).

Assim a arquitetura computacional utiliza a computação para encontrar uma lógica projetual coerente, que responda de modo satisfatório a todos os condicionantes aos quais deve responder, revelando ainda uma multiplicidade de soluções formais que podem atender a um contexto específico ou variável, de acordo com a lógica aplicada em sua execução. Ademais, o ambiente computacional permite que a elaboração projetual e a documentação gráfica estejam interligadas e permeiem o mesmo ambiente, tornando o processo mais intuitivo e fluido.

2.2 DESIGN PARAMÉTRICO

Segundo Javier Monedero (2000), um dos problemas fundamentais da plataforma CAD é explicitar conhecimentos intuitivos que possuímos, normalmente referidos como “senso comum”, e que o computador consiga interpretar de modo automático. Conhecimentos como o fato de que pisos são sempre horizontais e janelas normalmente “pertencem” às paredes eram conceitos difíceis de estabelecer

de modo que o computador não violasse as regras durante a produção de um modelo arquitetônico (MONEDERO, 2000).

Para esse tipo de situação existe o conceito de restrições (do inglês *constraints*). São as restrições que permitem que uma polilinha seja entendida como uma coleção de curvas com vértices restritos a permanecer juntos, ou que permitem que um grupo de linhas permaneça paralelas, coplanares ou perpendiculares (MONEDERO, 2000).

Assim como o próprio conceito de design paramétrico, as restrições encontram-se presentes atualmente em todos os sistemas CAD (MONEDERO, 2000). Quando desenvolveu o sistema do *Sketchpad*, Ivan Sutherland havia implementado em seu projeto os primeiros conceitos rudimentares de design paramétrico. Contudo, estes conceitos foram pouco explorados até serem redescobertos e estudados décadas depois (MITCHELL, 2006). Era possível no *Sketchpad*, por exemplo, ao definir que duas retas eram paralelas entre si, fazer com que uma delas fosse alterada ao se modificar os parâmetros da outra.

Desde sua gênese, os sistemas computacionais de auxílio à atividade de projeto possuíam a perspectiva de evoluir para um sistema de design com características paramétricas. Em 1939 o arquiteto italiano Luigi Moretti propôs a definição de arquitetura paramétrica em pesquisa realizada com o matemático Bruno De Finetti, intitulada: “*The relations between the dimensions dependent upon various parameters*”⁷. Segundo Moretti (1939):

Os parâmetros e suas definições se tornaram [...] o código de uma nova linguagem arquitetônica, a estrutura no sentido original da palavra [...]. O uso destes parâmetros, assim como suas relações, deveria ser amparado por técnicas e ferramentas oferecidas pela maioria das ciências atuais, principalmente lógica, matemática [...] e informática (MORETTI, 1939, apud TEDESCHI, WIRZ e ANDREANI, 2014. Tradução nossa).

De acordo com Moretti (1939), os computadores oferecem a possibilidade de expressar parâmetros e suas relações por meio de um conjunto de rotinas autocorretivas (TEDESCHI, WIRZ e ANDREANI, 2014). Os conceitos definidos por Moretti são, acima de tudo, visionários, haja vista a época em que foram apontados,

⁷As relações entre as dimensões dependentes de vários parâmetros (Tradução nossa).

ainda nos primórdios da evolução da ferramenta computacional. Percebe-se que o conceito de design paramétrico está intimamente ligado ao ambiente computacional desde sua origem. Entretanto, como boa parte dos avanços tecnológicos, seu uso foi previsto antes mesmo que houvesse uma tecnologia que lhe desse o devido suporte.

Em sua lógica conceitual, é possível abordar o projeto arquitetônico a partir de um novo paradigma, no qual não existe a busca por um resultado finito que atenda uma demanda específica e sim a busca pelo delineamento dos parâmetros do problema projetual, que determinará uma família de resultados adequados em um determinado contexto. Dessa maneira, não é a forma que se põe explícita e declarada, mas os parâmetros de projeto (KOLAREVIC, 2000).

Observando tanto a origem quanto a evolução tecnológica no âmbito da representação gráfica, modelagem geométrica e sistemas projetuais, o design paramétrico parece ser o resultado natural e esperado para responder a um problema projetual no qual cada solução sugerida sofre influências oriundas do contexto, mas também gera influências nas tomadas de decisões nas etapas subsequentes.

No design paramétrico, equações podem ser usadas para descrever as relações entre elementos do projeto, gerando uma geometria associativa. Desse modo, a interdependência entre as partes pode ser estabelecida e o comportamento dos elementos sob transformação definida (KOLAREVIC, 2000).

Atualmente, cada vez mais o ensino de projeto envolve o domínio de estratégias e métodos em meios computacionais. Experimenta-se um crescente avanço na análise, produção e simulação de modelos complexos e variáveis, criados em ambiente computacional (VELOSO, SCHEEREN e VASCONCELOS, 2017). Conceitos como modelagem e design paramétrico adquiriram proeminência no âmbito de processos de projeto arquitetônico nos últimos 15 anos.

2.2.1 DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS

Para entender com maior precisão o conceito de design paramétrico, devemos analisar separadamente o significado de cada palavra, além de suas conceituações

em diferentes campos, com o intuito de definir o conceito mais adequado para os objetivos desta dissertação.

De acordo com o dicionário Michaelis (2017), o significado de parâmetro para a matemática é a “denominação dada a uma variável de caráter secundário, com alguma função especial, que tem como finalidade os objetos de um conjunto ou de uma família; todo elemento em que sua variação de valores modifica a solução de um problema, sem, contudo, modificar sua natureza”.

No domínio da informática, parâmetro é “a informação que define os limites ou as ações de alguma coisa, tais como uma variável, uma rotina ou um programa”.

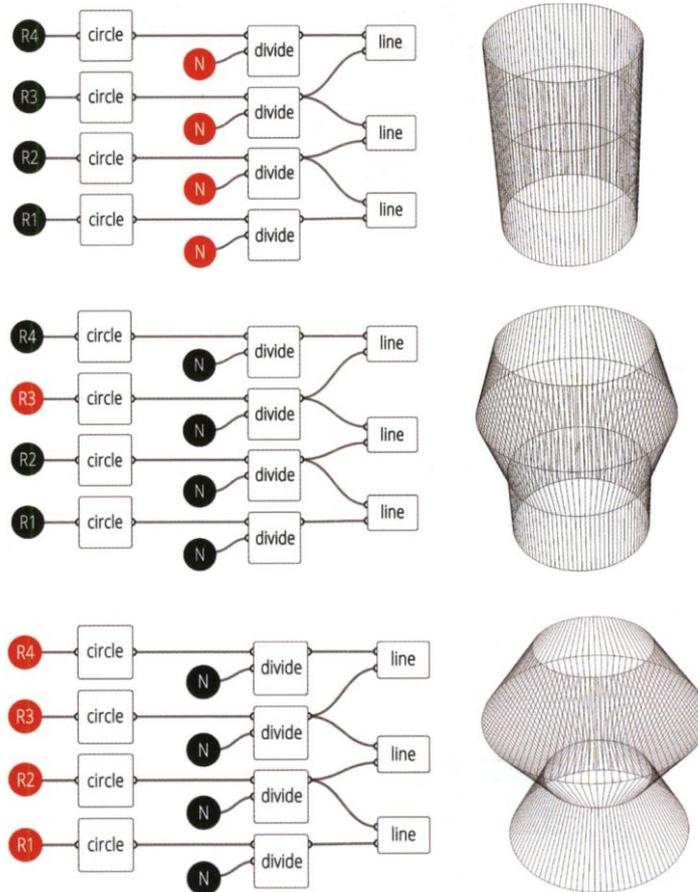
No campo do design, Charles Eames, em entrevista concedida à Madame L. Amic, elaborou uma boa definição ao afirmar que se trata de um “plano para organizar elementos de uma maneira que cumpra da melhor forma possível um propósito”. (EAMES, 1989; tradução do autor)

As definições de parâmetro, tanto para a matemática quanto para a informática, são importantes para as interpretações que se seguem, pois, aliado à conceituação de design como atividade projetual, quando relacionado às arquiteturas computacionais, aborda a descrição de geometrias a partir da definição de parâmetro dentro do ambiente computacional para atingir um determinado objetivo ou propósito.

De acordo com Celani, o design paramétrico consiste na variação de dimensões e características de uma forma para adaptá-la a circunstâncias específicas, utilizando para isso parâmetros, o que permite a variabilidade na forma e amplia sua aplicabilidade e originalidade (CELANI, 2002).

Trata-se de uma lógica de associação e de relações de dependência entre objetos e suas partes e entre as partes e o todo. Com o uso de parâmetros definidos por valores numéricos, é possível criar alterações entre as relações geométricas de um determinado objeto e gerar uma grande variedade de versões para uma mesma situação (OXMAN e OXMAN, 2014). Como se observa na figura 13, a partir da variação de parâmetros em um mesmo algoritmo pode-se obter diferentes variações de forma.

Figura 13: Alterações paramétricas do cilindro



Fonte: TEDESCHI, WIRZ e ANDREANI, 2014

O design paramétrico digital normalmente implica em uma descrição algorítmica da geometria (KOLAREVIC, 2000). Estas descrições algorítmicas estão usando atualmente um ambiente de programação visual integrados a softwares de modelagem CAD. Entre estes softwares destacam-se o *GenerativeComponents*, da *Bentley Systems* (2003), o *plug-in Grasshopper* para *Rhinoceros 5*, da *McNeel* (2007), sendo este o mais conhecido; e o *Dynamo* para o *Revit*, da *Autodesk* (2011) (VELOSO, SCHEEREN e VASCONCELOS, 2017).

De acordo com Dino (2012), o design paramétrico pode ser considerado como subcategoria do design algorítmico por estar estritamente ligado à construção de um algoritmo. Do ponto de vista computacional, o autor argumenta que não existe diferença entre algoritmos e sistemas paramétricos uma vez que algoritmos por padrão são operados a partir de parâmetros e o componente fundamental dos sistemas paramétricos é o próprio algoritmo também chamado de esquema ou

definição. Entretanto, diferentemente do design algorítmico, os sistemas paramétricos possuem ênfase na explicitação e na manipulação direta nos valores dos parâmetros para obter um melhor resultado final no projeto. Esta é a principal diferença entre o design paramétrico e um simples algoritmo: a manipulação dos parâmetros em busca de um melhor resultado.

Algoritmos são procedimentos para endereçar problemas utilizando uma série finita de passos, uma série lógica e consistente (NATIVIDADE e VENTURA, 2009). Assim, algoritmos não são exclusivamente digitais e podem ser aplicados na resolução de qualquer tarefa cotidiana. Por isso, sua aplicação no âmbito da computação e da arquitetura é de particular interesse deste trabalho.

A definição do problema arquitetônico em um sistema algorítmico oferece a possibilidade de ordenar a complexidade de um projeto arquitetônico em subproblemas pequenos o suficiente para serem resolvidos em etapas que serão interligadas com a utilização de parâmetros associativos, tal qual opera um algoritmo de divisão e conquista que reduzem recursivamente um determinado problema em partes mais simples para então resolvê-lo. Outra possibilidade pode ser obtida ao utilizar a resposta encontrada para um determinado problema e utilizá-la para encontrar a próxima solução de uma etapa subsequente de um problema de maior magnitude. A abordagem algorítmica se assemelharia a um algoritmo de decremento e conquista, na qual o algoritmo resolve um subproblema e o utiliza para a solução de um problema de maior complexidade. Tais abordagens oferecem a possibilidade de encarar as condicionantes projetuais de maneira lógica, desmistificando assim a noção de criatividade como algo misterioso e intangível (BENJAMIN, 2012).

Esta é, aliás, uma das grandes críticas elencadas ao design paramétrico: de que com o uso dos computadores e a delegação da tomada de decisões aos algoritmos estar-se-ia, na verdade, abdicando da autoria dos projetos para os computadores. Entretanto, esta crítica não leva em consideração que existe o fator humano na criação de tais algoritmos, e que eles estão a serviço da intenção de um determinado indivíduo.

Assim sendo, dois indivíduos podem, para uma mesma tarefa, determinar algoritmos diferentes para a sua solução, levando a uma resposta diferencial no mesmo contexto. Ao levar esta lógica para a manipulação e criação de formas a partir

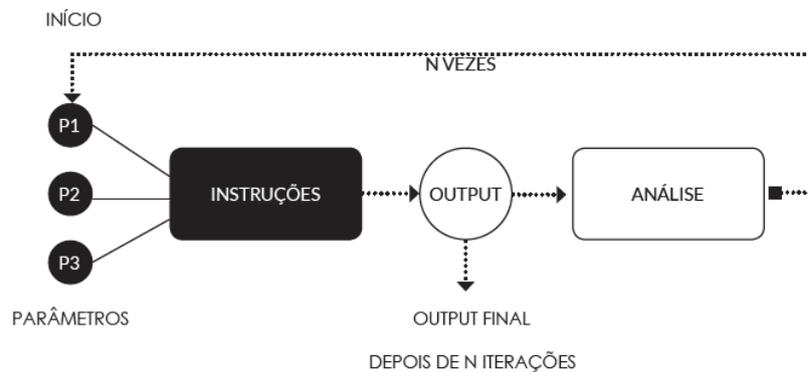
de relações geométricas geradas por algoritmos, pode-se antecipar que diferentes indivíduos chegarão a diferentes processos frente a um mesmo problema, tal qual acontece na abordagem de projeto tradicional.

Por outro lado, o design paramétrico de fato exige em contrapartida certo grau de maturidade do projetista, uma vez que ele necessitará de certa expertise ao delinear os problemas projetuais em formato algorítmico. Segundo Woodbury (2010), a definição das relações entre os componentes do projeto criado no ambiente paramétrico exige um esforço inicial para que se estabeleça uma lógica geral, assim como se explicitem as ideias utilizando notações formais ou descrições simbólicas. Contudo, uma vez realizados estes processos, é possível obter um benefício posterior garantindo a possibilidade de realizar alterações sem, no entanto, a necessidade de refazer as partes (VELOSO, SCHEEREN e VASCONCELOS, 2017) .

Além disso, é necessário ter certa destreza com a utilização de ferramentas computacionais, assim como ter familiaridade com problemas de lógica matemática. Estes podem ser alguns dos entraves encontrados no ensino do design paramétrico para alunos nas faculdades de arquitetura e design, uma vez que maturidade profissional e expertise computacional são adquiridos com o tempo e prática constante. Contudo, é possível usar a lógica algorítmica para ensinar alunos a lidar com problemas de ordem projetual e geométrica em diferentes escalas de complexidade e assim facilitar o ensino da arquitetura paramétrica quando esta for apresentada aos alunos com maior profundidade. Desse modo, exercícios de complexidade gradual, assim como a instrumentalização computacional, podem ser grandes aliados na formação e preparação do futuro profissional.

O design paramétrico, portanto, oferece novas possibilidades e metodologias de projeto que somente são viáveis graças à capacidade de processamento de dados que existe nos computadores pessoais. Se no processo reflexivo de projeto, descrito por Schön (1992), havia a elaboração de um determinado projeto de modo não linear e cíclico, resultando em um produto finito, com o design paramétrico o processo se dá de modo linear e explícito (figura 14), e cada proposta elaborada no ambiente computacional gera uma gama de possibilidades, fazendo com que o projetista tenha à mão diferentes alternativas projetuais, algumas inclusive não previstas a priori.

Figura 14: Design Digital



Fonte: TEDESCHI, WIRZ e ANDREANI, 2014

2.3 DESIGN GENERATIVO

O design generativo consiste na busca por métodos de geração de formas. Estudos atuais mostram uma abordagem de projeto computacional que aplica diferentes formas de controle de movimento e comportamento criados por programas de simulação de modo a conceber formas (GU, SINGH, e MERRICK, 2010). De acordo com Gabriela Celani, um sistema generativo é um método indireto de projeto, no qual o projetista não tem seu foco voltado para uma solução específica de um problema e sim na definição de um método que possibilite resolver problemas semelhantes em diferentes contextos e com características ligeiramente semelhantes (CELANI, VAZ e PUPO, 2013).

É preciso frisar que o design generativo não é uma abordagem de projeto exclusivamente computacional, como podemos constatar observando nos estudos feitos por Mitchell (1970), nos tratados de Palladio (1570) e Durand (1809). Estes, por exemplo, podem ser considerados sistemas generativos (CELANI, VAZ e PUPO, 2013). Atualmente o design generativo encontra nas ferramentas computacionais um ambiente propício para uma implementação mais efetiva.

Revisitando a história da arquitetura, é possível encontrar arquitetos que utilizavam sistemas generativos em seu processo criativo, mesmo antes do advento computacional. Dino (2012), em seu artigo “*Creative Design Exploration by Parametric*

Generative Systems in Architecture”, apresenta alguns exemplos de arquitetos que operavam com sistemas generativos análogos, como descrito abaixo:

Mitchell traça as raízes dos sistemas generativos em geral para filosofia, literatura e composição musical e sistemas generativos aplicados a arquitetura em particular a Leonardo Da Vinci (MITCHELL, 1979). De acordo com Hanna e Barber, Jean-Nicolas-Louis Durand seguiu uma abordagem generativa análoga para criação da arquitetura neoclássica com a aplicação de diferentes combinações de elementos construtivos (HANNA e BARBER, 2001). As placas de Louis Sullivan que descrevem processos para reprodução de ornamentação floral baseada em construções geométricas e os cinco pontos da arquitetura de Le Corbusier em que ele formaliza seu estilo são consideradas exemplos de sistemas generativos análogos anteriores ao uso da computação em arquitetura por El-Khaudi (2007) (DÍNO, 2012, p. 2, Tradução nossa).

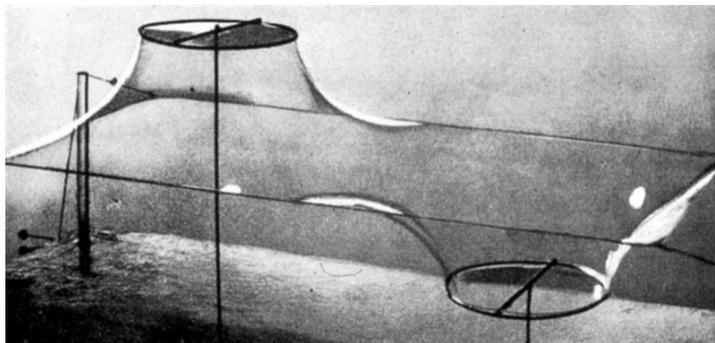
Podemos citar ainda renomados arquitetos como Antoni Gaudí e Frei Otto, que utilizavam sistemas generativos para exploração formal em seus projetos. Gaudí trabalhava com a distribuição de pesos em barbantes formando curvas definidas matematicamente como catenárias. A partir dessas curvas ele obtinha o partido inicial para a formação de seus projetos (figura 15). Frei Otto trabalhava com estruturas tensionadas simuladas fisicamente por bolhas de sabão, o que se relaciona diretamente com o estudo de superfícies mínimas na matemática (POLONINI, 2014) (figura 16).

Figura 15: Curvas catenárias de Antoni Gaudí



Fonte: https://iaranciopinguino.files.wordpress.com/2012/01/img_2419.jpg

Figura 16: Superfícies mínimas de Frei Otto



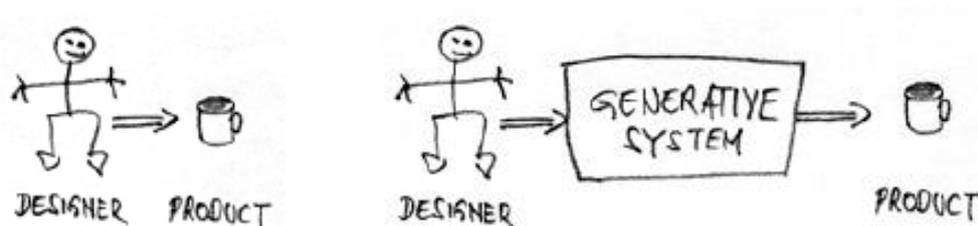
Fonte: https://images.adsttc.com/media/images/5501/96fb/e58e/cee4/f100/01bf/large_jpg/frei-otto_film-de-savon.jpg?1426167541

Estes processos, no entanto, não se davam de modo fluido ou eficiente. A aplicação construtiva das formas obtidas a partir destes processos para o mundo físico esbarrava em diversos obstáculos tais como a materialidade, a estrutura e a expertise construtiva, entre outros. Além disso, existia uma clara limitação entre a transmissão das informações obtidas por tais processos para a documentação e representação do projeto.

2.3.1 DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS

O design generativo trata da criação de sistemas que operam sobre a lógica projetual, daí também a existência da expressão 'sistemas generativos' como geradora de possibilidades formais para um mesmo projeto. No design generativo, o foco não é o produto final e sim o sistema elaborado para gerá-lo, assim como a construção e o entendimento do problema projetual a ser resolvido (CELANI, VAZ e PUPO, 2013). A atuação do indivíduo sobre o projeto não ocorre diretamente em suas características formais, mas no sistema que determinará o comportamento que o objeto do projeto terá frente a diferentes contextos (CELANI, VAZ e PUPO, 2013) (figura 17).

Figura 17: Abordagem de projeto convencional e com o uso de sistemas generativos



Fonte: FISCHER e HERR, 2001

Segundo Dino (2012), a formação do processo generativo requer quatro elementos básicos: uma condição inicial e parâmetros (input), um mecanismo generativo (regras, algoritmos entre outros), a produção de variações para um mesmo produto final (output) e a seleção da melhor variação. Até que sejam cumpridas estas quatro etapas, segundo o autor, o produto do design não se materializa. Assim sendo, pode-se considerar o sistema generativo como um sistema de produção e não um instrumento representacional.

De acordo com Celani et al (2013), os sistemas generativos podem ser usados em três situações distintas:

- Otimizando soluções de problemas cujos critérios de qualidade estejam bem definidos, mas não haja nenhum método direto para encontrar uma solução, sendo necessário testar diversas possibilidades antes de encontrar a melhor alternativa.
- Geração de família de objetos em situações nas quais se busca uma ampla diversidade de soluções que mantenham entre si certa similaridade, porém apresentando também diferenças.
- Exploração de situações de projetos em que os critérios estejam mal definidos, sendo importante pesquisar diferentes possibilidades de modo a avaliar seus prós e contras até encontrar a melhor solução possível para estas situações projetuais.

O design generativo pode ser utilizado para geração de múltiplas alternativas projetuais, mas pode também ser utilizado para seleção entre estas múltiplas alternativas, desde que os critérios de qualidade sejam claros e estejam explícitos

(CELANI, VAZ e PUPO, 2013). De acordo com os autores, os sistemas generativos podem criar soluções para um determinado problema utilizando geração exaustiva, também chamada de “às cegas”, geração heurística ou geração aleatória.

A geração exaustiva busca todas as soluções possíveis para uma determinada situação projetual, mesmo que entre estas soluções se encontrem opções que não sejam satisfatórias ou mesmo “boas”. Este método, no entanto, pode consumir muito tempo de processamento, tornando-se em alguns casos uma opção inviável para a investigação projetual.

A geração heurística por sua vez é uma abordagem que busca soluções que sejam no mínimo satisfatórias, baseadas em experiências anteriores e em algumas regras gerais. Este tipo de abordagem também pode ser encontrado em métodos tradicionais de projeto baseados em processos de decisão.

A geração aleatória pode ser usada quando o número de soluções possíveis é muito extenso. Contudo, a inovação por trás da exploração é demasiadamente importante. Nesses casos, em vez de enumerar todas as possibilidades, gera-se ao acaso um número menor de alternativas para testes. Este método de geração pode ser encontrado na natureza, onde indivíduos cruzam entre si de modo aleatório passando seus genes para as gerações futuras. A seleção natural, portanto, pode ser considerada o procedimento de avaliação das soluções geradas (CELANI, VAZ e PUPO, 2013).

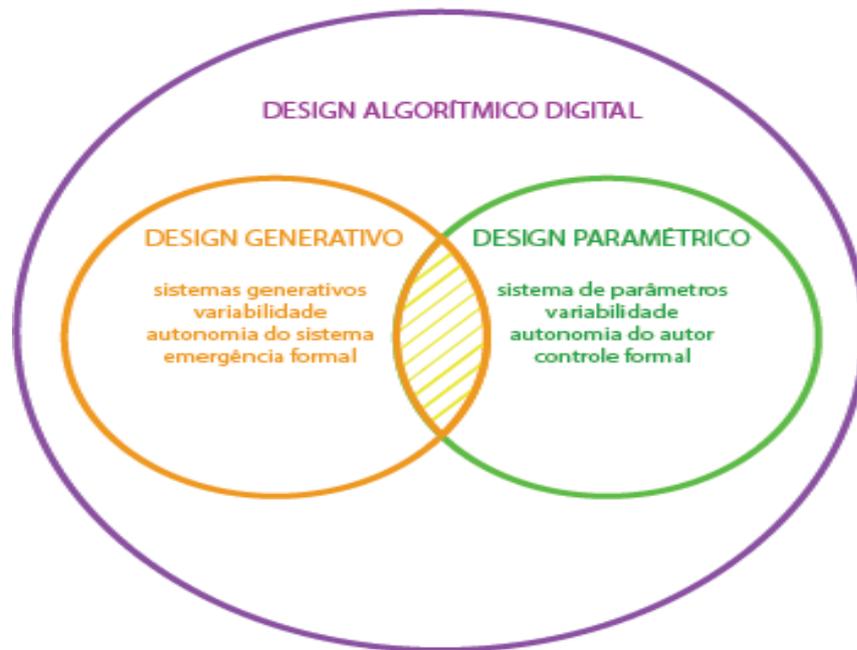
De acordo com Oxman (2006), é possível classificar os sistemas generativos em duas categorias: linguística e biológica. O sistema linguístico, também mencionado por Celani et al como sistemas baseados na lógica (CELANI, VAZ e PUPO, 2013) abrange a gramática da forma, na qual um conjunto de regras compositivas ou sintaxes dão origem e sentido ao projeto, ou seja, lhe atribuem valor semântico (DÍNO, 2012).

A categoria biológica tem sua inspiração na natureza e em organismos vivos complexos aplicando seus princípios genéticos evolutivos como estratégia para geração, avaliação e evolução de novas formas e tem nos algoritmos evolutivos seu paralelo no ambiente digital.

Além das categorias elencadas por Oxman (2006), Dino (2012) propõe que o design paramétrico seja considerado uma terceira classe entre os sistemas

generativos devido à sua abordagem algorítmica e à capacidade de expandir o espaço de exploração do design. Partindo da argumentação elaborada por Dino, pode-se entender mais claramente a relação entre o design generativo e o design paramétrico observando o diagrama abaixo.

Figura 18: Relação entre o design algorítmico digital, o design generativo e o paramétrico.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Conclui-se então que o design paramétrico pode ser considerado um sistema generativo desde que ele cumpra os quatro elementos básicos propostos por Dino. Ou seja, que possua um *input* inicial, que seja descrito por um conjunto de regras ou algoritmos, que ocorram variações no *output* e, por fim, que haja a seleção da melhor solução.

De acordo com Fischer e Herr (2001), para a compreensão do design generativo, é importante conhecer alguns dos sistemas generativos e técnicas projetuais que o operam. Entre eles podemos citar:

- Sistemas emergentes e de auto-organização tais como autômatos celulares⁸ e “swarm modelling”⁹;
- Sistemas de geração e crescimento algorítmicos tais como sistemas fractais, regras recursivas, design paramétrico e mapeamento de dados;
- Gramática generativa tais como L-Systems¹⁰ e gramática da forma;
- (re-)produção algorítmica (design evolutivo) tais como algoritmos genéticos e procedimentos seletivos.

Segundo os autores, é possível utilizar tais sistemas de modo inovador abordando outras técnicas generativas tais como:

- Mapeamento de dados como técnica de geração de símbolos, como a mineração de dados online;
- Design paramétrico como técnica para interpretação de símbolos.

Cada um destes sistemas possui um comportamento específico capaz de direcionar o projeto para uma determinada linguagem projetual (GU, SINGH, e MERRICK, 2010). Uma das características que compartilham os autores é o fato de todos os sistemas necessitarem de uma boa definição do problema projetual para que o projeto possa ser submetido aos sistemas generativos. Logo, é interessante notar que o uso do sistema generativo aprimora o raciocínio do indivíduo perante o contexto projetual uma vez que ele necessita transformar, mesmo que em partes específicas do projeto, um problema mal definido em um problema bem definido, auxiliando assim a construção de um raciocínio projetual pautado na abordagem lógica.

⁸Autômatos celulares foram introduzidos por J. von Neumann após sugestão de S. Ulam. Tratam-se de modelos de auto reprodutores desenhados para responder a questão: “é possível construir robôs que possam construir robôs idênticos, isto é, robôs com a mesma “complexidade””? O modelo proposto por von Neumann forneceu uma resposta positiva a esta questão. Outra questão “filosófica” é a produção de ordem a partir do caos e o conceito de auto-organização (ALLOUCHE, COURBAGE e SKORDEV, 2001, tradução nossa).

⁹Swarm modeling” é a expressão utilizada para tratar da simulação do comportamento de uma grande quantidade de “agentes” baseando-se nos comportamentos observados na natureza e utilizando princípios de inteligência artificial para a tomada de decisão de movimento destes agentes. De acordo com Carranza e Coates (2000), estes movimentos podem ser coordenados por simples comportamentos direcionais calculados de acordo com a percepção de todo o cenário e dos seus pares mais próximos.

¹⁰L-systems foram introduzidos por A. Lindenmayer como um modelo matemático para descrever organismos multicelulares que formam filamentos lineares ou ramificados. (PRUSINKIEWICZ, 1999, tradução nossa.)

Uma vez que um projeto precisa adaptar-se ao seu contexto e às suas condicionantes particulares, somando-se o fato de que no período de criação o mesmo costuma exibir uma característica amorfa¹¹ e variável, é coerente que haja uma abordagem de elaboração que possa gerar possibilidades projetuais com a capacidade de se adaptar e evoluir em um contexto dado. Por este motivo, observa-se que frequentemente o design generativo encontra sua inspiração na natureza, onde variabilidade, adaptação e conceitos evolutivos estão presentes.

O uso do design generativo como técnica ou metodologia para o desenvolvimento de projeto é um fenômeno recente no cenário nacional, tanto nas instituições de ensino como na produção profissional. É relativamente difícil encontrar no Brasil exemplares de projetos produzidos com este método. Isso porque a adoção do design generativo por estudantes e profissionais da área de design e arquitetura encontra algumas dificuldades para sua efetivação.

Primeiramente cita-se o caráter extremamente abstrato do design generativo. Trabalhar a solução de problemas projetuais complexos a partir da elaboração de sistemas exige uma compreensão do espectro projetual que não é comum entre iniciantes na área, daí a dificuldade de inserir essa metodologia no currículo acadêmico. Soma-se a isso o fato de que essa abordagem é completamente diferente do paradigma projetual convencional.

O design generativo transfere o domínio do projetista para partes do processo de projeto que não lhe são familiares, por vezes fazendo-o ter a sensação de abdicar da autoria ou de perder o controle do processo projetual. Isso acontece pela falta de familiaridade em abordar a solução de um problema de modo algorítmico, pois o algoritmo necessita de um entendimento mais profundo para o desenvolvimento do sistema projetual, enquanto o paradigma convencional, por vezes, busca o “gesto” arquitetônico e aceita processos projetuais mais empíricos ou inconscientes. Isto não quer dizer que o paradigma convencional de projeto arquitetônico não busca ou fomenta um entendimento profundo no indivíduo durante o processo de ideação, mas permite que o processo projetual se inicie com um problema pouco definido, evoluindo a definição e o entendimento do problema pouco a pouco. Por outro lado, tanto o

¹¹ A palavra amorfa significa algo que não tem forma definida, este termo está sendo aqui utilizado para definir a característica dinâmica da forma enquanto projeto, uma vez que ela se modifica e se adapta a cada etapa que avança, não tendo, portanto, uma forma definida até o término do processo de projeto.

design paramétrico quanto o design generativo necessitam que o problema projetual seja explicitado, para que seja possível resolvê-lo com o uso de algoritmos.

Todavia, hoje a primeira geração que nasceu após a revolução digital chega à Universidade e depois no mercado de trabalho trazendo consigo a familiaridade com as ferramentas computacionais, com a conectividade baseada na internet das coisas, com a prototipagem rápida, entre outras inovações tecnológicas que impactaram radicalmente o cotidiano profissional das áreas criativas. Para este indivíduo, a batalha não será mais focada no aprimoramento de sua destreza frente às ferramentas CAD e sim no desenvolvimento do seu raciocínio cognitivo para usar as ferramentas digitais que dispõe de modo criativo.

O design generativo, portanto, apresenta-se como a evolução natural das primeiras abordagens paramétricas aplicadas ao projeto. Pode-se afirmar que os anos 1980 viram a evolução dos sistemas CAD, os anos 1990 por sua vez testemunharam a evolução da plataforma BIM e os anos 2000 estão presenciando o desenvolvimento do design generativo (FIAMMA, 2011).

2.4 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

Na década de 1970, diversos núcleos de pesquisa trabalharam nas funcionalidades da plataforma CAD. Com a evolução do sistema de modelagem de sólidos, começou a se vislumbrar a possibilidade de extrair, a partir da modelagem das edificações, os desenhos técnicos e informações necessárias para sua construção. Para isso, seria necessário fazer a integração entre o modelo geométrico e o modelo construtivo informacional do projeto, o que representaria uma mudança considerável na abordagem da plataforma CAD vista até então (EASTMAN, 1989).

As primeiras versões tridimensionais das plataformas CAD eram, via de regra, representações geométricas abstratas, ou seja, elementos arquitetônicos representados com volumes sólidos prismáticos. Entretanto, informações construtivas não constavam neste modelo. Era um trabalho de abstração entender que um determinado volume modelado, na verdade, representava uma viga de concreto e não uma viga de madeira por exemplo.

A abordagem “*building modeling*” permite a integração entre as informações construtivas e as informações de modelagem possibilitando a partir da representação tridimensional obter a representação bidimensional, assim como informações detalhadas a respeito do modelo construído. Na abordagem convencional, a tradução entre o significado dos componentes geométricos modelados e suas respectivas informações construtivas sempre foi responsabilidade do projetista. O objetivo do “*building modeling*” é transferir para o computador a função de tradução e gerenciamento de dados entre os elementos modelados e as informações construtivas que se deseja para cada elemento, permitindo ao projetista acessar as informações e fazer alterações de projeto tanto no ambiente tridimensional como no bidimensional de modo integrado e não redundante (EASTMAN *et al.*, 2008).

A plataforma BIM baseia-se em conceitos de modelagem paramétrica alcançada a partir da fusão entre duas formas de construção geométrica produzidas na década de 1970: o sistema B-rep e o sistema CSG. A evolução destas duas formas de modelagem foi um importante precursor da modelagem paramétrica moderna (EASTMAN *et al.*, 2008). Os primeiros sistemas de “*building modeling*”, baseados em sólidos tridimensionais, foram desenvolvidos no final dos anos 1970 e início dos anos 1980, como resultado de pesquisas empreendidas em diversas universidades e também na iniciativa privada. Contudo, devido a fatores como o alto custo dos *softwares*, a alta capacidade de processamento computacional que estes sistemas demandavam, entre outros, a indústria da construção não reconheceu naquele momento as vantagens oferecidas por esses sistemas de modelagem, preferindo adotar o *AutoCAD* ou similares que ofereciam suporte aos métodos de documentação de desenho arquitetônico digital no ambiente bidimensional (EASTMAN *et al.*, 2008).

Para entender a abordagem BIM é necessário compreender a edificação em um contexto que vai além de seus constituintes geométricos. É entender seus componentes construtivos para então associar tais características aos elementos geométricos que compõem a edificação. Um dos primeiros sistemas que criou com êxito uma base de dados com elementos construtivos foi o Building Description System (BDS). Trata-se do primeiro *software* a descrever uma biblioteca individual de elementos que podiam ser acessados e adicionados a um modelo. O BDS foi projetado por Charles Eastman, considerado como uma das grandes referências da pesquisa nesta área até os dias de hoje (BERGIN, 2012).

Na década de 1980, novos sistemas tentaram incorporar a plataforma BIM como o *GDS*, *RUCAPS*, *TriCAD*, *Calma*, entre outros. Essas tentativas geraram relevantes contribuições à evolução do sistema BIM como, por exemplo, a introdução do conceito temporal de fases do processo construtivo incorporado pelo *software* RUCAPS, utilizado para auxiliar a construção do terminal 3 do aeroporto de Heathrow em Londres (BERGIN, 2012; EASTMAN *et al.*, 2008).

Paralelamente, na antiga União Soviética houve grandes contribuições à evolução da plataforma BIM como a conhecemos hoje. Dois nomes merecem ser citados: Leonid Raiz e Gábor Bojár. Apesar das limitações impostas pelo antigo regime soviético, Bojár foi o desenvolvedor do *Software Radar CH*, lançado em 1984 para o sistema operacional *Apple Lisa*. Posteriormente tornou-se o *software Archicad*, o primeiro *software* BIM disponível para PC. Contudo, o *software Archicad* passou por um longo período de incubação devido às limitações das primeiras versões e da capacidade de processamento dos primeiros PCs, tornando-se apenas recentemente um dos grandes representantes da plataforma BIM.

Não muito distante da criação do Radar CH, em 1985 a *Parametric Technology Corporation* (PTC) foi fundada e, no final de 1987, lançou a primeira versão do sistema *Pro/ENGINEER*. Participavam da equipe de desenvolvimento da PTC Irwin Jungreis e Leonid Raiz. Munidos dos conhecimentos adquiridos na produção do *Pro/ENGINEER*, decidiram criar sua própria companhia de *softwares* chamada *Charles River Software*, em Cambridge. Em 2000, a empresa apresentou o *software Revit*, que empregava mecanismos de modelagem paramétrica. Em 2002, o *software Revit* foi comprado pela *Autodesk*, uma das empresas gigantes do setor, e isso impulsionou a quantidade de vendas e, por consequência, o aumento do número de usuários da plataforma BIM (BERGIN, 2012).

Atualmente, *Archicad* e *Revit* são dois *softwares* bastante populares no Brasil para trabalhar em plataforma BIM. O número de escritórios de arquitetura que adotam a plataforma BIM não para de crescer, e muitos creem que seja apenas uma questão de tempo até que a plataforma BIM consiga suplantar definitivamente as plataformas CAD convencionais.

Uma vez que o modelo realizado para o projeto de uma determinada edificação contenha informações relativas aos elementos construtivos constituintes, assim como

materialidade, vedações, sistema estrutural entre outros, é possível aplicar sobre este modelo sistemas de simulação para avaliar características e comportamentos do projeto em diferentes contextos. Um dos primeiros sistemas a integrar análise gráfica e simulações para fornecer informações sobre o comportamento do projeto em diferentes condições de orientação, geometria, sistema construtivo foi o *Building Design Advisor*, desenvolvido pelo Laboratório Nacional *Lawrence Berkeley* em 1993 (BERGIN, 2012).

Posteriormente programas de análise, tais como *Ecotect*, *Energy Plus*, *IES*, *Dialux*, *Relux*, entre outros, tornaram-se mais populares para diferentes simulações nos escritórios de arquitetura e ajudam o projetista a antecipar o comportamento da edificação a ser projetada, possibilitando alterações para melhorar seu desempenho ainda nas etapas iniciais de projeto.

Uma vez que se realiza a integração entre os programas de simulação e desempenho com os *softwares* BIM é possível, ainda em estágios iniciais, elaborar um projeto com acentuada maturidade e factibilidade, tornando-o cada vez mais próximo dos contextos reais e de situações otimizadas. Isso representa um ganho para os estudantes de arquitetura por aproximá-los, mesmo que virtualmente, da prática em arquitetura, além de agregar um conhecimento sobre materiais e procedimentos construtivos que outrora era absorvido de maneira demasiadamente abstrata.

2.4.1 DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS

No livro *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, de autoria de Charles Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks e Kathleen Liston, estão citadas as seis características chave para que ocorra o que eles consideram uma simulação inteligente de arquitetura de maneira integrada. Para os autores, a simulação deve ser:

- Digital;
- Espacial (3D);
- Mensurável (quantificável, capaz de ser medido e consultado);

- Abrangente (que possa compreender e comunicar a intenção do projeto, o desempenho da edificação, construtibilidade¹² e inclua aspectos sequenciais e financeiros dos meios e métodos construtivos);
- Acessível (para toda a indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) por meio de uma interface intuitiva e interoperável);
- Durável (que possa ser usado em todas as fases da vida de uma edificação).

Uma das vantagens da plataforma BIM é a interoperabilidade de dados e profissionais no processo projetual, permitindo um acesso facilitado à base de dados da edificação uma vez que o modelo BIM pode concentrar todas as informações multidisciplinares da edificação (FEIST, 2016). Esta vantagem fica maior se considerarmos a possibilidade de as equipes multidisciplinares trabalharem em rede de modo simultâneo. Assim é possível atualizar, resolver e compatibilizar o projeto em tempo real por diferentes profissionais. Além disso, uma vez que estes dados estejam centralizados em um modelo BIM, é possível identificar os erros mais facilmente por algum dos diferentes agentes envolvidos no projeto (FEIST, 2016), evitando dessa forma que estes erros sigam para a etapa de obra.

A plataforma BIM se destaca na representação, integração e documentação do projeto arquitetônico, porque possui mecanismos capazes de compatibilizar com determinada facilidade as diversas etapas e multidisciplinaridades de um projeto. Contudo, revela-se bastante limitada quanto ao estímulo de estratégias projetuais criativas (WAHBEH, 2017). Isso se deve à limitação da interface dos *softwares* BIM. Na verdade, pode-se dizer que representam novas “caixas pretas” no processo projetual. O profissional tem espaço limitado para interferir no funcionamento do *software* vendo-se obrigado a trabalhar com as ferramentas que o programa dispõe, via de regra, utilizando-o com pouca margem para exploração.

Cientes ou não desta aparente limitação da plataforma BIM, os fabricantes do *Revit* e do *Archicad* investiram grande esforço e energia na integração de seus produtos com os *softwares* de lógica algorítmica (WAHBEH, 2017). Dessa modo, para

¹² Construtibilidade pode ser definida como o bom uso do conhecimento e da experiência em construção para atingir o sucesso em um empreendimento. “Trata-se da somatória de experiências e competências que as empresas têm para alcançar seus objetivos na obra”, explica o professor Ítalo Coutinho, coordenador da área de Engenharia e Construção do Instituto de Educação Tecnológica (IETEC). Fonte: https://www.aecweb.com.br/cont/m/cm/construtibilidade-e-caminho-para-o-sucesso_12332.

integração com o *Revit*, foi desenvolvido o *software* de código aberto *Dynamo*, da *Autodesk*, enquanto os fabricantes do *Archicad* investiam em uma parceria com *softwares* mais conhecidos do público em geral, promovendo a integração do seu produto com o *Rhinoceros 5* e o *Grasshopper*, assim a *Graphisoft* assumiu uma posição de grande importância no cenário do design generativo (WAHBEH, 2017).

Além disso, existem outras ferramentas de design algorítmico habilitadas a se integrar com a plataforma BIM, como por exemplo o *Marionette*, que trabalha em parceria com o *Vectorworks*, e o *Generative Components*, um plug-in da *Bentley* (WAHBEH, 2017). A grande expectativa é que essa integração venha assimilar as qualidades de ambas as plataformas, ampliando as possibilidades criativas com a utilização dos *softwares* de modelagem paramétricos e generativos, bem como os recursos de documentação e representação para os arquitetos, obtidos com uso da plataforma BIM.

Uma vez que a utilização da plataforma BIM assinala uma grande transição no que se refere à representação gráfica e à organização dos dados construtivos, é importante pensar uma abordagem metodológica para a introdução deste domínio de conhecimento na estrutura curricular do curso de arquitetura. Barison e Santos (2010) propõem que esta introdução à plataforma BIM ocorra em três níveis.

O nível introdutório deve ser composto com as disciplinas de representação gráfica e fornecer os conhecimentos instrumentais para capacitar os alunos como modeladores na plataforma BIM. Os alunos devem aprender as ferramentas mais utilizadas na plataforma BIM e modelar um projeto simples ou partes deste projeto. O objetivo, segundo os autores, é obter uma boa base de conceitos e experiências na plataforma BIM, habilitando o aluno como um modelador BIM (BARISON e SANTOS, 2010).

O nível intermediário pode ser ministrado integrando uma disciplina de projeto e uma disciplina de técnicas construtivas. Como pré-requisitos, os alunos devem possuir conhecimentos básicos de projeto assim como de métodos construtivos, conceitos BIM e experiências primárias com a plataforma BIM. O objetivo é ensinar aos alunos as outras ferramentas de BIM e como evoluir seus conhecimentos em modelagem tridimensional. Os autores recomendam que os alunos analisem seus

modelos BIM com o objetivo de avaliar características de desempenho como sustentabilidade, eficiência energética entre outros.

Sobre o segundo nível, Ruschel, Andrade e Morais (2013) acrescentam a necessidade de focar em técnicas de projeção que utilizem métodos generativos e paramétricos a esta etapa, o que novamente remete à integração da plataforma BIM com os *softwares* paramétricos. Para o nível intermediário os autores sugerem que os alunos trabalhem em grupo e de forma cooperativa para gerar um modelo BIM que inclua as disciplinas da arquitetura, instalações prediais, estruturas, entre outros.

Os trabalhos devem ser realizados em grupos nos quais cada indivíduo tem uma função específica, porém estas funções seriam rotativas para que todos os integrantes do grupo tenham a oportunidade de lidar com uma gama de desafios e aprendizados diversos: detecção de conflitos, análise de modelos, quantificação e orçamento de obra, entre outros. O curso intermediário deve capacitar o aluno com conhecimentos suficientes para torná-lo um analista BIM (BARISON e SANTOS, 2010).

O nível avançado de ensino da plataforma BIM deveria ser integrado com uma disciplina de gerenciamento de obra ou uma disciplina de projeto interdisciplinar e colaborativo. O aluno para ser habilitado neste nível deve possuir conhecimentos avançados em modelagem BIM, tecnologias construtivas, materiais construtivos, métodos construtivos, além de ter a capacidade de projetar no ambiente tridimensional. O curso avançado tem o objetivo de formar habilidades de um gerente BIM e introduzir conceitos de gerência de projeto e interoperabilidade na plataforma BIM aos seus alunos. Entre as várias possibilidades de aprendizado nessa etapa a que mais se destaca é a de aprender como funcionam as equipes de projeto. Por este motivo, é importante que os exercícios sejam, idealmente, realizados com alunos de outros cursos (BARISON e SANTOS, 2010).

Os autores sugerem que os conhecimentos aplicados neste nível devem ser o mais próximo possível das técnicas empregadas pelo mercado. Assim seria interessante que os alunos tivessem contato com projetos que estejam em produção pelo mercado de trabalho, acompanhando desde a sua concepção, os conflitos e o gerenciamento da construção (RUSCHEL, ANDRADE e MORAIS, 2013).

O objetivo deste nível é formar equipes multidisciplinares que trabalhem simultaneamente as diversas disciplinas do projeto de modo sincronizado e utilizando as ferramentas de gerenciamento integradas ao modelo de informação da construção. Dessa forma, é possível otimizar o gerenciamento do modelo construtivo além de proporcionar aos alunos uma experiência real de integração entre os diferentes profissionais durante a elaboração de um projeto.

Portanto, é possível traçar um paralelo entre a proposta desta dissertação e a classificação sugerida por Barison e Santos, pois na UFRGS o nível introdutório na plataforma BIM é ensinado na disciplina de Representação Gráfica II (RG-II), ministrada no terceiro semestre, quando o aluno tem o primeiro contato com a plataforma BIM, utilizando o *software Archicad*.

Nesta dissertação propõe-se a adoção do ensino do nível intermediário da plataforma BIM em uma disciplina de projeto, integrando-o com *softwares* generativos e paramétricos e aplicando-os a um método construtivo específico, o *woodframe*. Assim sendo, o que se pretende é integrar as plataformas e os conhecimentos, até então desconexos, mas que possuem grande afinidade, sintetizando-os em uma estratégia de ensino.

Em síntese, é possível apontar algumas características referentes a estes ambientes computacionais mencionados. Existem diferenças e semelhanças quanto ao seu público alvo, sua autonomia e métodos de manipulação. Algumas destas características são exibidas na tabela abaixo.

Tabela 1: Comparativo entre ambiente projetuais

	DESIGN PARAMÉTRICO	DESIGN GENERATIVO	BIM
PÚBLICO ALVO:	Indústria criativa geral	Indústria criativa geral	Arquitetura Engenharia e Construção
AUTONOMIA DO PROJETO:	Autor	Sistema generativo	Autor
OPERADO POR:	Parâmetros	Sistemas Generativos	Componentes construtivos
AMBIENTE/ MEDIA:	Digital/Analógico	Digital/Analógico	Digital
RACIOCÍNIO:	Algorítmico	Algorítmico	Projetual convencional
VARIABILIDADE DE RESULTADOS:	Permite	Permite	Não permite
VARIABILIDADE DE CONTEXTO:	Permite	Permite	Não permite
MAIOR POTENCIAL EM:	Ideação e parte da representação gráfica	Ideação e parte da representação gráfica	Todas as etapas

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Nesta dissertação, procura-se por um procedimento que entrelace estes mundos projetuais e utilize os pontos fortes de cada um deles, mitigando os pontos fracos pela complementaridade entre eles, ou seja, onde existe um ponto falho em um destes ambientes no outro pode ser um ponto forte. A proposta do trabalho é traçar uma estratégia de elaboração do partido arquitetônico usando o ambiente digital de modo criativo, com o uso de sistemas paramétricos de modo pragmático, para obter os desenhos técnicos automaticamente a partir da integração com a plataforma BIM.

3 PROJETO ARQUITETÔNICO E AMBIENTES DIGITAIS

Para atingir o objetivo principal desta dissertação - investigar a integração entre plataforma BIM e softwares algorítmicos/paramétricos de modo a favorecer o raciocínio criativo, tanto quanto a representação gráfica de formas complexas -, foi determinante a aplicação de um experimento pedagógico em uma disciplina de projeto, assim como em uma disciplina instrumental, com o objetivo específico de coletar dados qualitativos e averiguar a eficácia, os benefícios e os problemas da aplicação de tais métodos.

Além de abordar as características do design paramétrico ou a simples instrumentalização dos alunos com a ferramenta digital paramétrica, foi necessário explicitar a relação entre a ferramenta computacional e a sua aplicação em situações práticas de projeto. Para isso, foi preciso propiciar situações cotidianas nas quais a resolução de questões projetuais seria positiva com a abordagem do design paramétrico. O entendimento do raciocínio paramétrico aplicado a situações projetuais, segundo Flório (2012), requer um olhar mais abrangente, uma vez que as múltiplas possibilidades projetuais obtidas pelas variáveis e parâmetros podem conduzir a diferentes raciocínios interpretativos. Durante o processo de modelagem paramétrica, o que determina a destreza do indivíduo frente ao encadeamento de parâmetros, funções e variáveis são as experiências diversas adquiridas durante a prática. Ainda segundo o autor, noções de geometria, compreensão espacial e sistema construtivo são pré-requisitos de conhecimento para a modelagem paramétrica que só a prática pode oferecer. Por outro lado, existe um caráter instrumental inerente ao trabalho com ferramentas digitais paramétricas que torna indispensável a instrumentalização dos alunos, para que eles possam relacionar as ferramentas com os raciocínios projetuais que empregam.

Não obstante, é possível observar entre alunos do curso de arquitetura, e até mesmo entre profissionais, o hábito de elaborar um projeto que se molde à ferramenta digital que utilizam. Não é incomum constatar afirmações que responsabilizam determinados *softwares* pelas limitações projetuais e formais em trabalhos elaborados por estes indivíduos, indicando uma clara limitação que pode ser atribuída, dependendo do caso, tanto ao indivíduo quanto ao *software* utilizado. Isto gera uma

relação controversa entre usuário e ferramenta, uma vez que ela torna-se um fator limitante da criatividade projetual, quando deveria desempenhar o papel de facilitador desta atividade. Dito isto, é importante que o aluno saiba que o *software*, ou a ferramenta que utiliza, deve se moldar ao projeto e às intenções projetuais do indivíduo, e não o contrário. Por este motivo, torna-se determinante viabilizar a instrumentalização adequada dos alunos no ambiente digital paramétrico, para auxiliar o raciocínio projetual que foi proposto na disciplina de projeto arquitetônico.

Segundo Wahbeh (2017), existe um enorme contraste entre as possibilidades de projeto obtidas a partir do uso do design paramétrico e os conceitos padronizados que caracterizam a plataforma BIM. Todavia, o autor sugere que a combinação entre as duas abordagens é uma proposta atrativa para um projeto que possa ser realizado na plataforma BIM, porém, que não ignore as possibilidades criativas de projetar. Assim, o uso do design paramétrico, conectado com a plataforma BIM em estágios iniciais do projeto, torna-se conveniente para direcionar tomadas de decisão baseadas em informação, e também em aspectos formais (WAHBEH, 2017).

3.1 DESENHO ARQUITETÔNICO III - SEMESTRE - 2017/1 | ANÁLISE

A disciplina de Desenho Arquitetônico III (DA-III) tem caráter estratégico para os objetivos a que se propõe este trabalho, porque trata-se da última disciplina obrigatória focada na instrumentalização em representação gráfica disponível aos alunos que cursam o 4º semestre do curso de arquitetura da UFRGS. DA-III é ministrada paralelamente à disciplina de PA-II, conforme já mencionado. As aulas da disciplina DA-III ocorrem uma vez por semana e tem duração 3 horas, totalizando uma carga horária semestral de 45 horas, de acordo com a sua súmula. O número de alunos oscila entre 40 a 50 por semestre, o que configura um desafio em particular para esta disciplina.

Em sua súmula, até alguns anos atrás era descrita como uma disciplina com o objetivo de ensinar aos alunos as noções espaciais diversas no ambiente tridimensional, assim como a representação de elementos arquitetônicos a partir de processos variados, utilizando a representação dos efeitos de luz e material que este objeto poderia gerar. DA-III tinha, portanto, o objetivo de ensinar a representação do

ambiente tridimensional, entretanto, não possuía explicitamente nenhum compromisso com a exploração do raciocínio criativo ou com a representação gráfica no ambiente digital.

A partir de 2017 passou a ser descrita como uma disciplina focada na representação de elementos arquitetônicos usando recursos digitais e analógicos de desenho, além de apresentar aos alunos as ferramentas de prototipagem rápida e visualização gráfica virtual e analógica. Dessa maneira, a disciplina assumia a responsabilidade de aproximar os estudantes das novas tecnologias de produção e visualização que estão mudando a maneira como a arquitetura é pensada e produzida.

Segundo Terzidis (2006), existia uma predisposição normal entre as escolas de arquitetura que tendem a ensinar os alunos como usar ferramentas CAD e suas aplicações, mas não estimulam o aprendizado de sua linguagem, estrutura, filosofia, e o poder da programação aplicada a arquitetura. A representação gráfica tridimensional é um recurso de vital importância para a formação do estudante de arquitetura, pois é a partir do domínio do ambiente tridimensional que se torna possível a prática projetual, uma vez que arquitetura trata prioritariamente da espacialidade, característica possível apenas em três dimensões, como bem apontado por Christian Norberg-Schulz (1962). Segundo este autor:

Na teoria da arquitetura não existe motivo para deixar a palavra espaço designar qualquer coisa que não seja a tridimensionalidade de qualquer edificação. Expressões como “experiência espacial” ou “efeito espacial” deveriam, portanto, ser empregadas quando um volume estereométrico é de importância decisiva (NORBERG-SCHULZ, 1962, p 97, tradução nossa).

Não obstante a tridimensionalidade ser abordada com um caráter técnico na disciplina de Representação Gráfica II, responsável por instrumentalizar os alunos na plataforma BIM no semestre anterior, parece apropriado tratar também de relações geométricas mais complexas, assim como do próprio raciocínio projetual no ambiente digital. Atualmente faz-se necessário também trazer à luz algumas noções de programação aplicadas à modelagem tridimensional nos semestres subsequentes. Contudo, o currículo de ensino em arquitetura não prepara os alunos para utilizar a programação em seus processos projetuais. Além disso, a maioria dos arquitetos encara a programação como um conjunto de conhecimentos difícil de dominar

(LEITÃO, CABECINHAS e MARTINS, 2010). Segundo Romcy (2017), algumas faculdades brasileiras de arquitetura, nos últimos anos, adotaram aulas de programação em suas grades curriculares, todavia, no cenário nacional, esta mudança de paradigma ainda é lenta e pouco abrangente (ROMCY, 2017).

A disciplina de DA-III durante o primeiro semestre de 2017 teve como uma de suas principais diretrizes o incentivo ao design digital. Para isso, apresentou várias ferramentas digitais aplicadas a diferentes necessidades e fases projetuais, desde o uso da plataforma BIM, *softwares* paramétricos, representação gráfica vetorial, realidade virtual e aumentada, além de apresentar as possibilidades da pré-fabricação digital, como é possível observar no cronograma (Anexo A).

Assim, foi apresentada uma variedade de softwares e hardwares durante a apresentação do seu conteúdo ao longo do semestre (figuras 19 e 20). Além disso, os alunos tiveram a oportunidade de trabalhar com ferramentas analógicas aplicadas à representação gráfica e produção de maquetes, protótipos e padrões gráficos utilizando-se de técnicas mistas de representação e prototipagem.

Figura 19: Softwares utilizados em DA-III



Figura 20: Hardwares utilizados em DA-III



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

A disciplina iniciou com a proposta de realizar uma visita fotográfica ao Parque Farroupilha em Porto Alegre – RS, no intuito de estimular os alunos a explorarem as formas de objetos corriqueiros do parque, como lixeiras, bancos, luminárias, entre outros. Essas formas seriam posteriormente decompostas e trabalhadas em sala de

aula para dar origem a novos objetos, formas e composições em diferentes contextos com o auxílio de ferramentas digitais e analógicas.

O primeiro exercício tratou de descontextualizar o objeto escolhido colocando-o em uma nova aplicação. Este foi uma atividade de caráter criativo com o objetivo de fazer com que os alunos dissociassem a forma do objeto escolhido da função que exercia anteriormente, habilitando-os a descobrir novas possibilidades de uso. Posteriormente, arquitetos com expertise em plataforma BIM foram convidados para realizar um *workshop* para apresentar os princípios desta plataforma no *software Archicad 20*. Foi utilizado um modelo virtual, já produzido anteriormente, para demonstrar as potencialidades da plataforma, como a simultaneidade de dados construtivos e informações gráficas contidas em um único modelo. No momento seguinte a oficina aprofundou-se em detalhar melhor algumas funções de representação gráfica que o programa apresenta, como os materiais, as sombras e hachuras dos componentes, além de explicitar como são obtidas as plantas, cortes, fachadas e perspectivas oriundos do modelo BIM.

Uma vez concluído o exercício, foram disponibilizados aos alunos alguns conceitos básicos de dois *softwares* do pacote *Adobe*: o *Photoshop* e o *Illustrator*. O objetivo era realizar exercícios de pós-produção e humanização dos desenhos técnicos obtidos no exercício anterior com o *Archicad*. Foram mostradas estratégias de apresentação, de diagramação e de pós-produção. Observa-se que estes domínios de conhecimento estão se tornando em habilidades centrais entre os estudantes e profissionais da área de arquitetura e que, portanto, devem ser estimulados e ensinados aos alunos.

Em seguida os alunos foram instruídos a executar um exercício utilizando o *software Rhinoceros 5* e o *plug-in Grasshopper*. A atividade incluía a elaboração de uma volumetria básica, utilizando conceitos primários da ferramenta paramétrica, com a finalidade de apresentar as possibilidades da abordagem paramétrica na elaboração de formas e variações dinâmicas. Após as aulas iniciais de *Rhinoceros 5* e *Grasshopper*, os alunos voltaram-se à análise do objeto escolhido no início da disciplina com intuito de gerar padrões gráficos analógicos e/ou digitais a partir da decomposição formal do objeto inicial. Uma vez gerados os padrões, os alunos foram levados ao Laboratório de Inovação e Fabricação Digital, da Escola de Engenharia

(LIFELAB), e lá produzir moldes para reprodução dos padrões gráficos com o uso de uma cortadora a laser.

Os estudantes conheceram as ferramentas de pré-fabricação e prototipagem rápida, tais como máquinas CNC, a cortadora a laser e impressoras 3D. Esta parte do processo pedagógico tinha como intuito aproximar os alunos das relações que existem entre a elaboração projetual e a pré-fabricação digital, além de estimular o aprendizado com a realização de atividades práticas. A finalização do exercício consistiu na produção de um estêncil para pintura dos padrões gerados digitalmente, de forma lúdica, para criar uma relação amistosa entre os alunos e as ferramentas digitais. Os padrões gerados no exercício foram inseridos no *Rhinceros 5* para dar origem a um cobogó, com o auxílio do plug-in *Grasshopper*, dando aos alunos o contato com possibilidades tridimensionais paramétricas dos padrões emergentes.

Posteriormente os alunos tiveram contato com demonstrações de tecnologias que utilizam realidade virtual ou VR (do inglês Virtual Reality), exportando os modelos obtidos na etapa anterior para o *Archicad 20* para então transmiti-los ao *BIMx*, um software que permite a experiência de caminhar virtualmente por um projeto elaborado na plataforma BIM. Houve ainda a demonstração da tecnologia de realidade aumentada ou AR (do inglês Augmented Reality) com o aplicativo *Augmented*, que mapeia um padrão pré-determinado no ambiente físico e gera um objeto tridimensional projetado que fica visível em um *hardware* de visualização, tais como celulares, *tablets* ou *eyeglasses* como o *Microsoft Hololens*.

Este conteúdo é, do ponto de vista pedagógico, bastante positivo e inovador nas faculdades de arquitetura. De acordo com Freitas e Ruschel (2010), o uso de tecnologias VR aumenta a versatilidade dos modelos virtuais possibilitando uma experiência completamente imersiva. Ademais, este tipo de experiência permite uma antecipação visual e espacial até então impossível com os modelos digitais existentes. Mesmo sendo possível obter modelos tridimensionais, sua visualização estava restrita a uma tela, fazendo com que a percepção da volumetria continuasse, por definição, bidimensional.

Mais próximo ao final do semestre ocorreu uma aula prática envolvendo técnicas de apresentação e de representação gráfica com o software *Adobe InDesign*. Foi uma aula instrumental com o objetivo de preparar os alunos para a apresentação

final da disciplina, que envolveria a exposição de todos os exercícios produzidos durante o semestre em um painel informativo no formato A1.

O objetivo da disciplina de DA-III, no semestre de 2017/1, foi apresentar as diferentes ferramentas de representação gráfica digitais e analógicas, além de introduzir conceitos relativamente novos de apresentação e navegação do ambiente digital, tais como a realidade virtual, realidade aumentada e a pré-fabricação digital. Contudo, não era o foco da disciplina se aprofundar em uma das ferramentas especificamente. É neste ponto que reside a maior diferença entre o semestre analisado e a abordagem proposta para o semestre seguinte, que teve por objetivo dar ênfase ao ensino da ferramenta digital paramétrica, desviando-se minimamente para a rever alguns conceitos abordados no semestre anterior.

3.2 DESENHO ARQUITETÔNICO III - SEMESTRE - 2017/2 | PROPOSTA

De acordo com Andrade (2007), o computador não deve ser analisado apenas como uma ferramenta para representação gráfica nos estágios posteriores à etapa de ideação projetual. O autor defende que o computador deve contribuir ativamente durante a concepção projetual, como ferramenta de auxílio para elaborar o partido arquitetônico. Para isso, Andrade alega que é necessário instrumentalizar o profissional de modo que ele utilize a ferramenta computacional para melhorar e potencializar a qualidade do produto arquitetônico. Por isso, é necessário que haja uma mudança na postura do arquiteto perante o processo projetual mediado pelo computador. A disciplina de DA-III sofreu alterações no segundo semestre de 2017 para dar ênfase à instrumentalização do raciocínio digital paramétrico utilizando os *softwares Rhinoceros 5* e seu *plug-in Grasshopper*. A disciplina teve como objetivo estruturar um cronograma (Anexo A) que pudesse abranger um conjunto considerável de conhecimentos da ferramenta apresentada, porém observando um grau de complexidade compatível com alunos que se encontram no 4º semestre do curso de arquitetura.

Para cumprir este objetivo, foi proposto a modelagem de uma edificação de baixa complexidade geométrica, porém totalmente parametrizada em suas partes. Assim seria possível controlar o nível de dificuldade apresentado aos alunos em sala

de aula, ao mesmo tempo em que teriam os benefícios do raciocínio paramétrico em um contexto mais próximo da realidade. Por este motivo, optou-se pela modelagem parametrizada de um pequeno abrigo que utiliza a técnica construtiva do *woodframe*.

Paralelamente foram elaboradas vídeo-aulas contendo as operações mais complexas, com o objetivo de auxiliar e estimular o aprendizado das ferramentas paramétricas em contextos mais variados. Trata-se de um material de apoio que apresenta diferentes usos do raciocínio algorítmico aplicado à arquitetura, utilizando formas complexas. Para o planejamento do semestre, a disciplina de DA-III foi organizada para abordar os seguintes conteúdos:

- Introdução teórica – Arquitetura digital paramétrica
- *Rhinoceros 5 + Grasshopper*
- Pré-fabricação digital
- Conexão *Rhinoceros 5 + Grasshopper + Archicad 21*
- Realidade Virtual (VR do inglês Virtual Reality) – Realidade Aumentada (AR do inglês Augmented Reality)
- Design gráfico digital

Por conta de incompatibilidade de horários entre disciplinas que necessitavam utilizar o laboratório de informática, as aulas de DA-III foram ministradas em salas de atelier convencionais, ou seja, sem a presença de computadores. E este foi um dos principais fatores limitantes encontrados no decorrer do semestre. Para contornar este problema, os alunos foram distribuídos em grupos de três, totalizando quinze grupos. Posteriormente, foi proposto que pelo menos um integrante de cada grupo trouxesse um notebook, assim eles poderiam revezar entre si na função de levar o computador e ainda acompanhar as aulas com o seu grupo de trabalho.

Na abordagem proposta, foi sugerido que se trabalhasse com variados softwares:

- *Rhinoceros 5*
- *Grasshopper*
- *Grasshopper Archicad Live Connection*
- *Archicad 21*
- *BIMx*

3.2.1 PERFIL PARAMÉTRICO

A disciplina iniciou com uma aula teórica apresentando aos alunos as bases conceituais que descrevem a arquitetura paramétrica digital e algorítmica, com exemplos de aplicações reais em diferentes escalas e áreas do conhecimento com o objetivo de dar um contexto adequado aos alunos. Posteriormente ocorreu uma breve apresentação do fluxo de trabalho entre o *Rhinoceros 5* e o *Grasshopper*, da interface dos *softwares* e do método como operam o fluxo de dados em seu sistema utilizando *inputs*, *outputs* e componentes. Em seguida, a prática foi iniciada com um exercício de criação de um perfil parametrizado, que posteriormente seria a geratriz das operações formais empreendidas no decorrer da disciplina. Para isso, apresentou-se uma miríade de comandos iniciais básicos, utilizados na construção e manipulação deste perfil, tais como:

- *Construct point*
- *Vector (Unit X, Y e Z)*
- *Polyline*
- *SDL Line*
- *Number Slider*
- *End Points*
- *Move*
- *Rotation 3D*
- *Line | Line (LLX)*
- *Panel*

Complementarmente foram introduzidos comandos de operações matemáticas básicas, tais como:

- *Multiplication*
- *Addition*
- *Subtraction*
- *Division*

No decorrer do processo estabeleceu-se que as dimensões a serem utilizadas na construção do modelo seriam múltiplas de 0,6m por tratar-se de uma edificação com sistema construtivo em *woodframe*, onde esta é uma das medidas utilizadas como módulo estrutural. Além disso, boa parte das peças produzidas na construção civil possuem medidas múltiplas de 0,6m, sendo uma proporção muito versátil para se trabalhar com os alunos.

Nas imagens abaixo temos a definição de proporção constituída pela expressão: “0,6 x u” onde “u” é a quantidade de módulos. Como resultado deste primeiro exercício, foi possível construir um algoritmo (figura 24) que possuía a capacidade de gerar um perfil com ângulos e comprimentos variáveis, obedecendo a proporção anteriormente mencionada em todas as arestas do perfil com exceção de uma, que absorveria a diferença gerada pela variação de angulação e tamanho nas outras arestas, como mostrado nas figuras 21, 22 e 23.

Figura 21: Perfil Inicial

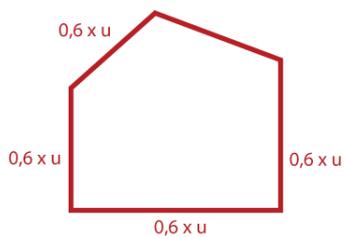


Figura 22: Variação perfil 01

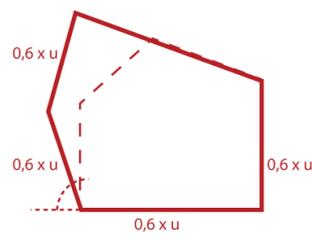
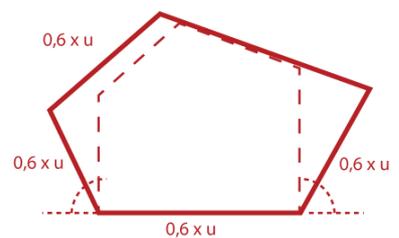
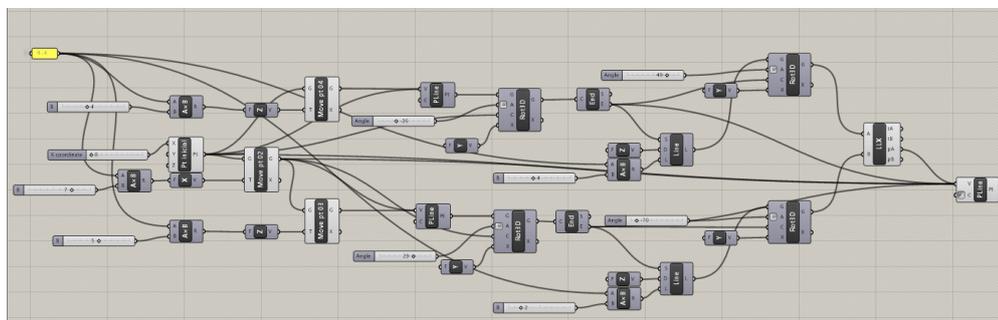


Figura 23: Variação perfil 02



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Figura 24: Algoritmo do perfil



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

3.2.2 VOLUMETRIA PARAMETRIZADA

A partir do perfil gerado foram expostos os novos recursos do software com o objetivo de realizar algumas operações geométricas básicas. Entre os novos comandos apresentados encontram-se:

- *Scale*;
- *Orient*;
- *Loft*;
- *Extrude*;
- *Solid Union*;
- *Cap Holes*;
- *Perp Frames*;
- *Brep | plane*, entre outros.

Ao final das operações foram obtidas quatro opções de volumetria (figuras 25, 26, 27 e 28) originadas a partir do perfil inicial e com propriedades geométricas totalmente parametrizadas. Na sequência do processo didático foi escolhida uma das volumetrias para detalhamento construtivo em sistema *woodframe*, introduzindo os novos comandos e raciocínios de modo a manter todo o processo interligado.

Figura 25: Volume 01 – Operação LOFT

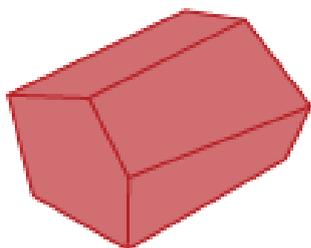


Figura 26: Volume 02 – Operação EXTRUDE + SCALE

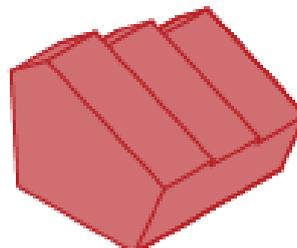


Figura 27: Volume 03 – Operação EXTRUDE + PERFIL VARIÁVEL

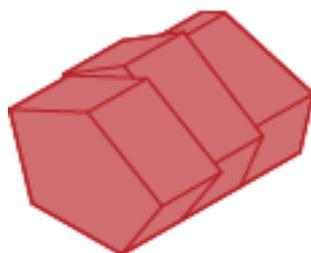
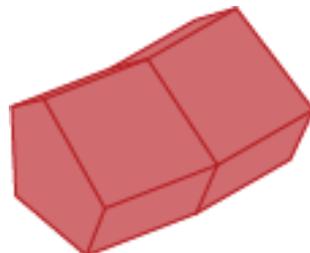


Figura 28: Volume 04 – Operação EXTRUDE + SIMETRIA



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

3.2.3 SECCIONAMENTO E LINHAS GUIA

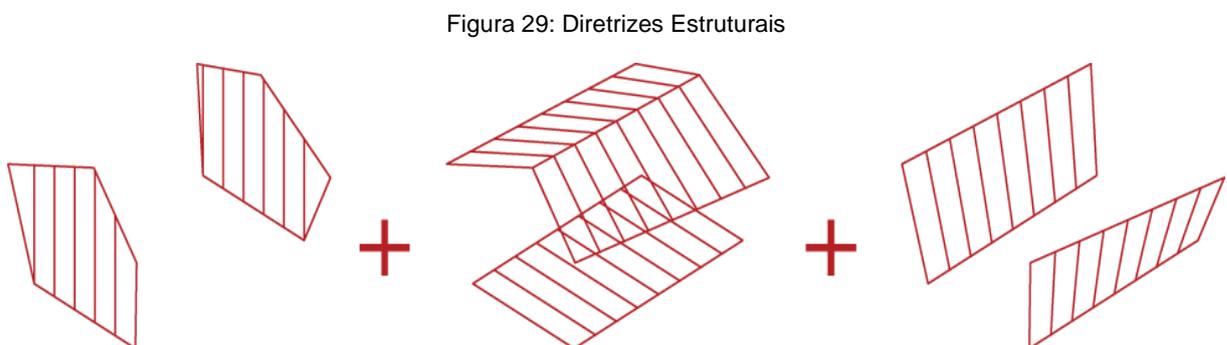
Após a geração das volumetrias, o exercício seguiu para uma etapa de detalhamento estrutural e construtivo, definindo as linhas diretrizes e geratrizes das peças estruturais. Esta sequência levou os alunos a modelarem peças estruturais de seções variáveis, uma vez que na estrutura da edificação as peças estruturais teriam dimensões e alinhamentos diferentes, passíveis de serem parametrizados. Para a realização desta etapa foi escolhido o volume 01 (figura 25), por se tratar da forma mais simples entre as quatro figuras geradas, mas com a complexidade formal da interpolação volumétrica entre os diferentes perfis iniciais, isso gerou superfícies não coplanares na maioria de suas faces.

O raciocínio geométrico empregado em um projeto que utilize a tecnologia construtiva de *woodframe*, poderia ser descrito como um processo de seccionamento volumétrico com espaçamento constante. Neste caso específico com espaçamento de 0,6m, no qual o volume foi interseccionado por planos perpendiculares às suas superfícies, gerando as linhas guias que foram posteriormente substituídas por perfis

estruturais. Em cada uma destas linhas guias foram incorporados perfis de madeira com medidas variáveis de acordo com o vão, carregamento e posição em que se encontram. Uma vez explicitado este processo, uma nova variedade de comandos foi apresentada aos alunos para que fosse possível realizar este procedimento. Entre os comandos apresentados podemos citar:

- *Orient Direction;*
- *Construct Domain;*
- *Divide Domain?*
- *Isotrim;*
- *Deconstruct Brep;*
- *Project (an object in a plane);*
- *Project Point;*
- *Delete Consecutive;*
- *Explode Curve;*
- *Divide Curve;*
- *Sweep1.*

Ao final do processo, os alunos puderam extrair da volumetria as linhas guias necessárias para gerar, em um segundo momento, as peças estruturais do sistema *woodframe*, como pode ser visto na figura 29. Estas figuras, por sua vez, foram separadas de acordo com suas posições.

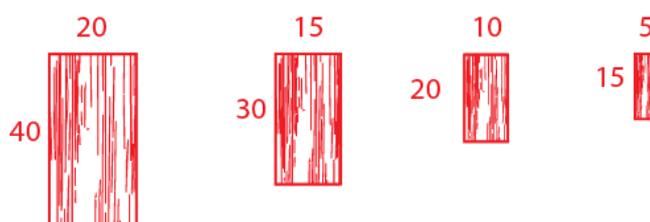


Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

3.2.4 SISTEMA ESTRUTURAL PARAMETRIZADO

Na sequência, as seções de diferentes dimensões foram incorporadas e devidamente orientadas às linhas diretrizes, gerando assim o sistema estrutural da edificação. Já as seções estruturais foram dimensionadas de acordo com os detalhamentos apresentados nos livros “*Graphic guide to frame construction – third edition*” (THALLON, 2008) e “*Técnicas de construção ilustrada – quarta edição*” (CHING, 2016). Nestes livros são descritas estratégias de construção em *woodframe* e sugeridas dimensões de seções de acordo com o vão e a modulação utilizada no projeto. Assim gerou-se uma família de peças de madeira de seções variadas a serem incorporadas na edificação, como pode ser visto abaixo.

Figura 30: Família de seções de madeira utilizados na disciplina



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Para realizar a modelagem virtual da estrutura, estas seções precisavam alinhar-se às linhas diretrizes com base em pontos de referência presentes no perfil. Para este procedimento, foi produzido um “*cluster*” que permite ao usuário encapsular diversos componentes e procedimentos, incluindo outros *clusters*, de modo a formar um componente apenas (LEITÃO e SANTOS, 2011), deixando externos apenas os *inputs* e *outputs* necessários para que o procedimento encapsulado aconteça. Neste caso, os *inputs* seriam as dimensões da seção, o ponto de referência para o alinhamento e a seleção da linha diretriz, sendo o *output* as peças estruturais em formato *Brep*.

Figura 31: Cluster externo

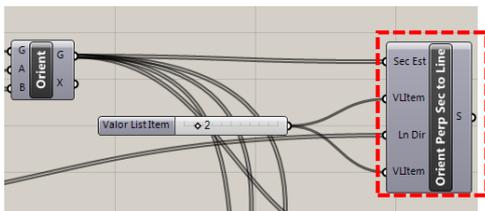
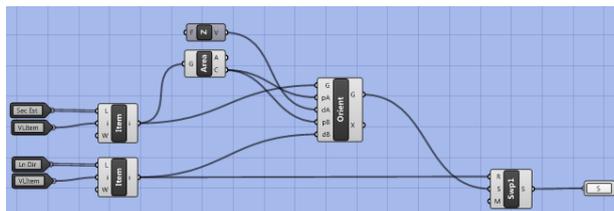


Figura 32: Cluster interno



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Uma vez concluído o *cluster* foi possível produzir a estrutura preliminar da edificação, com seus montantes horizontais, verticais, barrotes, vigas e terças, seguindo as diretrizes indicadas pelos livros de Thallon (2008) e Ching (2016). Com a estrutura preliminar montada, os alunos passaram a observar o desempenho parametrizado da estrutura a partir das alterações dos perfis geratrizes iniciais, obtendo assim inúmeras possibilidades de alinhamento e posicionamento para as peças estruturais (figuras 33, 34 e 35).

No final, os alunos já estavam familiarizados com um dos principais potenciais desta abordagem que é a facilidade de obter variações formais em um mesmo projeto de modo controlado, além de compreender o caráter explícito do raciocínio projetual empregado de maneira algorítmica (figura 36).

Figura 33: Estrutura Loft Inicial

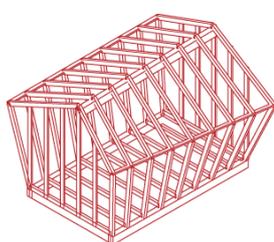


Figura 34: Estrutura Loft 02 Alterações nos perfis e nas dimensões do volume

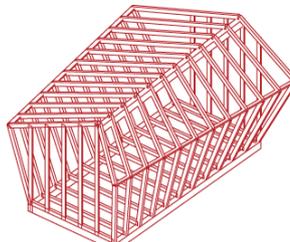
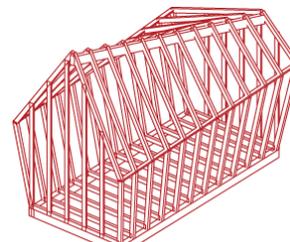
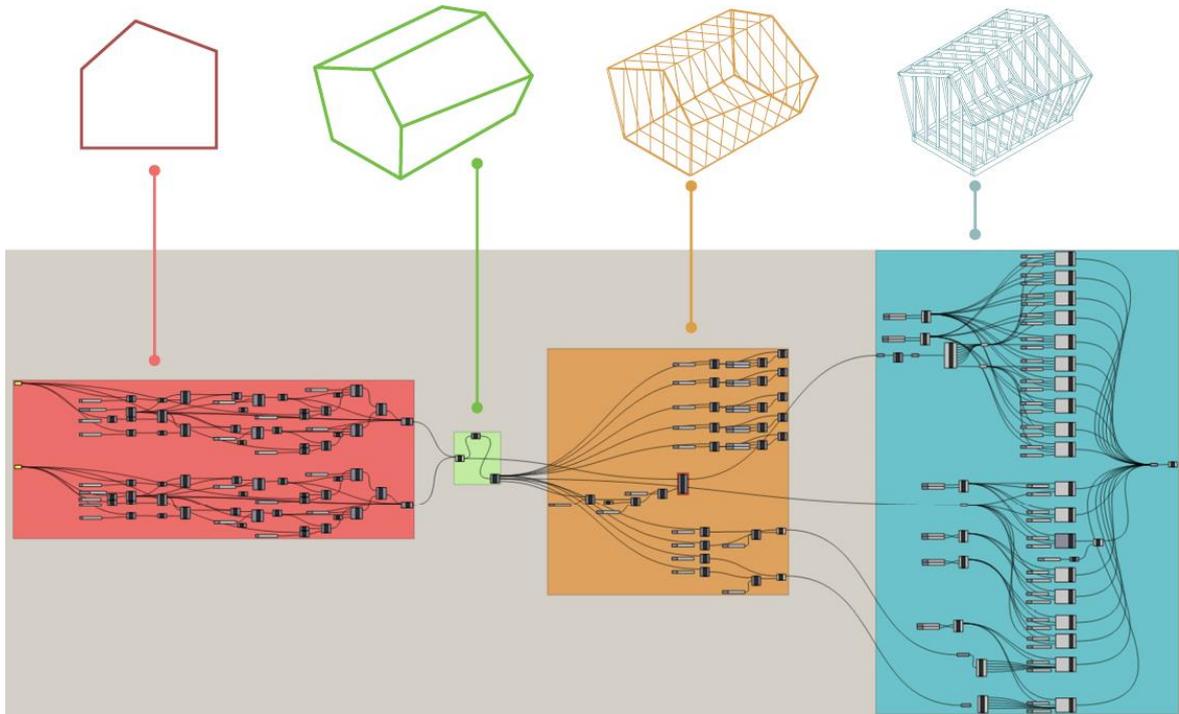


Figura 35: Estrutura Loft 03 Alterações nos perfis e nas dimensões do volume



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Figura 36: Raciocínio algorítmico explicitado



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

No planejamento inicial para o semestre estavam previstas as etapas para revestimento dos perfis estruturais com chapas de OSB e ainda a colocação de esquadrias e a cobertura. Entretanto, não foi possível realizar estas etapas no decorrer do curso. O raciocínio de modelagem paramétrica provou ser bastante complexo para a compreensão dos alunos, tornando as aulas por vezes mais demoradas e menos produtivas do que o esperado. De qualquer maneira, do ponto de vista didático, a disciplina atingiu o objetivo de apresentar a plataforma paramétrica, o raciocínio algorítmico e as potencialidades da aplicação destes processos na prática, cumprindo o objetivo de aproximar estes domínios de conhecimento dos alunos.

3.2.5 INTEGRAÇÃO ENTRE SISTEMA ALGORÍTMICO E BIM

Uma vez concluída a descrição paramétrica proposta, a disciplina avançou no intuito de promover a integração entre o *software* de modelagem algorítmica e a plataforma BIM. De acordo com Sofia T. V. Feist (2016), a combinação entre design algorítmico e a plataforma BIM pode oferecer inúmeros benefícios ao processo projetual em arquitetura. Em sua dissertação de mestrado, a autora classifica essa interação como A-BIM, um acrônimo para “*Algorithmic-Based Building Information Modelling*”. Segundo a autora, alguns profissionais já começaram a explorar essa integração nos últimos anos, mas ainda existe campo para pesquisa e exploração nessa abordagem (FEIST, 2016).

Para iniciar a exploração dessa integração entre a plataforma algorítmica e a plataforma BIM, foi utilizado um *plug-in* para o *Grasshopper* chamado “*Grasshopper Archicad Live Connection*” (GALC). Este *plug-in* foi lançado em 2016 e permite uma integração direta, e em tempo real, entre os softwares *Rhinceros 5*, *Grasshopper* e *Archicad* com a introdução de novos componentes. Estes, por sua vez, são capazes de gerar geometrias no *Grasshopper* obedecendo a lógica construtiva do *Archicad*. Assim, é possível gerar geometrias que já carregam em si os dados construtivos. Estes dados são transmitidos ao *Archicad*, onde a geometria gerada é reproduzida, e logo estão prontos para a geração de elementos construtivos como pilares, vigas, lajes, paredes, entre outros (figura 37). Para mais informações, consultar o glossário de componentes do *Grasshopper*.

Figura 37: Componentes GALC

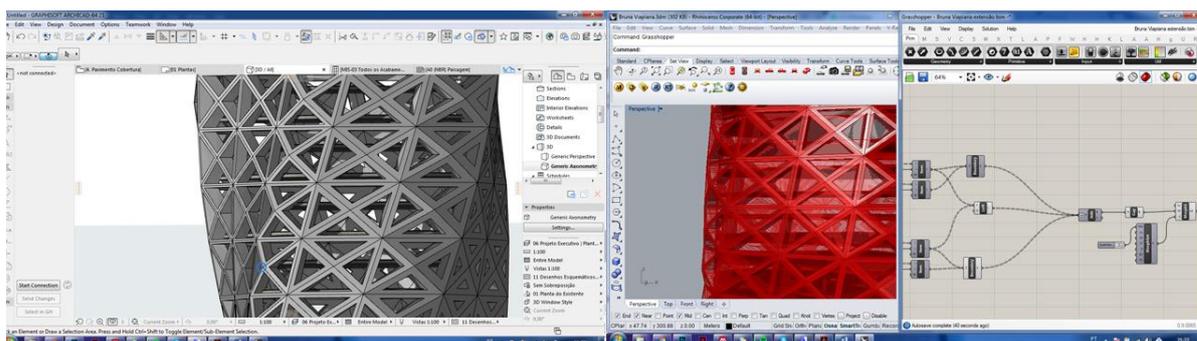


Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

O que torna este *plug-in* interessante é o fato de permitir que os componentes construtivos sejam descritos parametricamente dentro da interface do *Grasshopper*.

Desse modo, permite a união entre o raciocínio paramétrico, o controle construtivo e a facilidade da representação gráfica disponível na plataforma BIM. Com isso, foi possível transmitir as informações volumétricas construtivas obtidas pelo *Grasshopper* automaticamente para a plataforma BIM (figura 38).

Figura 38: Integração Rhinoceros 5, Grasshopper e Archicad com o plug-in GALC



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

A etapa acima descrita foi fundamental para a disciplina, pois permitiu que os alunos experimentassem na prática a integração entre os softwares mencionados, assim como a construção de pontes de raciocínio de modo a empregar os conhecimentos adquiridos em outras situações projetuais que envolvam formas complexas ou possam ser descritas parametricamente e assim integrá-las às suas propostas projetuais em BIM.

A conexão entre os softwares substituiu os elementos estruturais gerados anteriormente no *Grasshopper* por componentes nativos do *Archicad*. A partir dessa integração foi possível aos alunos obter cortes, plantas e detalhes da edificação modelada, ao mesmo tempo em que criavam variações topológicas do modelo. Outra vantagem desta integração é a possibilidade de utilizar a realidade virtual no aplicativo BIMx para proporcionar a facilidade de observar uma perspectiva diferenciada, em primeira pessoa, frente à modelagem por eles gerada.

Assim, a disciplina de DA-III conseguiu abordar tanto a elaboração do modelo paramétrico em ambiente digital e algorítmico como proporcionar experiências digitais imersivas aos alunos, concluindo a proposta pedagógica focada em ferramentas digitais inovadoras para representação e visualização gráfica.

3.3 PROJETO ARQUITETÔNICO II - SEMESTRE - 2017/1 | ANÁLISE

A disciplina de Projeto Arquitetônico II (PA-II) ministrada na turma C foi a escolhida para aplicação de estratégias projetuais paramétricas. O conteúdo da disciplina é ministrado três vezes por semana com aulas que variam entre 2h30min a 3h30min de duração, totalizando uma carga horária semestral de 150 horas. Essa escolha foi pautada por características gerais referentes ao currículo do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFRGS e nas características específicas da disciplina escolhida para o experimento:

- A disciplina é oferecida no 4º semestre do curso de Arquitetura, um momento estratégico em que o aluno já carrega alguma bagagem técnica, construtiva e conceitual;
- Os conhecimentos e técnicas projetuais neste ponto da formação acadêmica ainda estão se sedimentando, logo, há espaço para a aceitação de novas abordagens projetuais;
- A disciplina neste semestre pode ser integrada com a disciplina de Desenho Arquitetônico III (DA-III) quando se dá a instrumentalização dos alunos com as ferramentas paramétricas;
- Desde 2017/1 os alunos são instrumentalizados com a plataforma BIM no 3º semestre, logo, é possível trabalhar a integração entre o BIM e *softwares* de abordagem algorítmica como ferramenta de projeto.

Entre as características específicas da disciplina de PA-II, escolhida para o experimento, destacam-se:

- A utilização de estratégias do *design thinking* para estimular o processo criativo no desenvolvimento do projeto proposto;
- O tema de projeto apresentado, um hotel design, tem características propícias para exploração formal, com um enfoque mais acentuado no design e no conceito, seja na elaboração ou na implantação das unidades habitacionais;
- Por norma do departamento de projeto, a disciplina possui em torno de 15 alunos para cada professor, o que permite um acompanhamento mais próximo ao aluno as aulas;

- PA-II tem foco na produção de estruturas com a utilização do *woodframe* como método construtivo, o que permite o uso de um vocabulário de elementos construtivos finito, mas com boa gama de variabilidade formal;
- A integração do projeto com a natureza permite que sejam incorporados conceitos emprestados de áreas externas à arquitetura, como por exemplo a biologia para a elaboração do projeto;
- A distribuição do cronograma da disciplina (Anexo B) dedica mais de 2/3 do tempo de aula ao raciocínio criativo e aproximadamente 1/3 às questões técnicas e detalhamento. Esta divisão permite a ênfase desejada no processo criativo da proposta pelos alunos.

Durante o período letivo de 2017/1 foi realizado um acompanhamento de estágio docente na disciplina de PA-II para que fosse possível tecer uma análise sobre o cenário geral da disciplina, as estratégias empregadas em aula, a temática proposta, a divisão da estrutura da disciplina e seu objetivo central, para então propor intervenções pontuais e realizar um experimento pedagógico relacionado com o tema desta dissertação.

De acordo com o programa, a disciplina propõe a elaboração de um “Ho(s)tel Design” localizado no distrito de Itapuã, município de Viamão, em um local integrado com a natureza às margens do rio Guaíba. A disciplina prevê a produção de um anteprojeto de arquitetura que exercite as relações compositivas entre o conceito, o programa, a materialidade e o sítio, assim como pesquisar e utilizar referências formais. Se caracteriza, portanto, por um grau de complexidade considerável, pois relaciona questões paisagísticas, arquitetônicas e construtivas em uma mesma proposta projetual.

O local apresenta um forte apelo turístico e localiza-se a apenas 57 Km da cidade de Porto Alegre. Existe atualmente no terreno um restaurante e um espaço para eventos, além de edificações que revelam resquícios de usos anteriores, tais como um curral e um tambo de leite. A área disponível para o projeto situa-se a beira do rio Guaíba, possui 45.000 m² no total, com um declive de 13 m distribuídos pelo terreno e a existência de algumas formações rochosas de granito e massas vegetais dispersas. Outra questão relevante sobre o terreno é que parte dele se encontra em

área alagadiça. Já foram registrados pelos proprietários do local, alagamentos que podem chegar a uma altura de até 1,5m.

Figura 39: Imagem aérea do terreno de Projeto Arquitetônico II



Fonte: Google Earth

3.3.1 EIXOS TEMÁTICOS

O projeto proposto se baseia em quatro eixos temáticos: conceitual, ambiental, funcional e material. Cada temática pode ser dividida em três etapas criativas e uma etapa de caráter mais técnico. A distribuição das etapas projetuais de acordo com seus eixos pode ser observada abaixo (cronograma disponível no a):

1. Conceitual:

1.1 Apresentação da temática e do conceito Hotel Design

1.2 Exercício criativo - casa na árvore

1.3 Análise do tema proposto, condicionantes funcionais, referências projetuais;

1.4 Construção de um *mapa mental* com palavras relacionadas às sensações experimentadas no local de projeto;

1.5 Realização de um gráfico de polaridades onde todas as palavras-chave do *mapa mental* são distribuídas em polaridades de público x privado, dentro x fora;

1.6 Elaboração do conceito aplicado ao hotel com a produção de um *moodboard* relativo às sensações experimentadas no sítio;

1.7 Criação de uma logo e slogan oriundos do *mapa mental*;

1.8 Definição do público-alvo, dos equipamentos de uso comum e das atividades complementares a serem realizadas no hotel;

2. Implantação/Ambiental:

2.1 Análise de insolação, ventos predominantes, vegetações, pré-existências e topografia do terreno;

2.2 Lançamento dos caminhos principais e secundários de distribuição pelo terreno, relacionados com o conceito elaborado na etapa 1;

2.3 Locação das unidades habitacionais e das atividades de uso comum;

2.4 Definição das unidades habitacionais a serem projetadas de acordo com os públicos-alvo e temáticas conceituais escolhidas pelos alunos;

2.5 Especificação de mobiliário urbano complementar, tais como lixeiras, bancos, luminárias etc.;

2.6 Lançamento formal dos equipamentos de uso comum.

3. Programático:

3.1 *Moodboard/ conceito em fase individual*

3.2 Proposição de volumetrias com aberturas levando-se em conta insolação e ventos predominantes do terreno

3.3 Lançamento do partido arquitetônico a ser utilizado nas unidades de repouso e relacionadas com os conceitos produzidos nas etapas 1 e 2;

3.4 Lançamento de planta baixa com mobiliário esquemático e lançamento de unidade acessível.

A etapa de caráter técnico pode ser assim descrita:

4. Material, Construtivo e Interiores:

4.2 Estrutura, montantes, pilares e vigas;

4.3 Vedações e aberturas;

4.5 Coberturas, impermeabilizações;

4.6 Detalhamentos;

4.7 Projeto de interiores e ambientação das unidades de repouso.

As temáticas criativas e técnicas são desenvolvidas em aulas expositivas e práticas nas quais os alunos trabalharam com exercícios de complexidade gradativa seguindo o modelo espiral inspirado em Broadbendt (1973), (figura 40). Isto proporcionou aos estudantes a possibilidade de se aprofundar em vários níveis de complexidade projetual, partindo do âmbito geral para o particular, e dominar as ferramentas de projeto desde o levantamento até os detalhamentos executivos de projeto (PONZIO e PIARDI, 2017).

3.3.2 ESTRATÉGIAS DO DESIGN THINKING

A metodologia de ensino adotada para estimular o processo criativo dos alunos baseia-se em práticas inovadoras do *design thinking*. O termo design thinking se tornou, nos últimos anos, o foco de explorações e estudos diversos no domínio acadêmico e profissional. Para entender o design thinking é necessário primeiro compreender como se posiciona a atividade projetual, isto é, o Design no âmbito da ciência.

O Design encontra-se entre dois campos de pesquisa bastante distintos. Por um lado, existem as Ciências Exatas, que possuem como característica a busca da verdade sobre determinado fenômeno pela observação, utilizando o método experimental, controlado, e taxonomias com o objetivo de compreender melhor os fenômenos. Do outro lado, as Ciências Humanas, ou Humanidades, que buscam compreender as atividades e experiências humanas utilizando analogias, metáforas e avaliações (GARCÍA, 2012).

O Design se posiciona como uma terceira cultura que lida como a construção e o planejamento utilizando mundos artificiais, trabalhando valores como utilidade, empatia, estética, conveniência, sustentabilidade, entre outros. Assim sendo, o design situa-se entre a produção técnica e a criativa como atividade reativa a estes dois polos opostos. Por isso, o raciocínio que profissionais da área utilizam para resolver problemas de design é diferente do raciocínio empregado pelos profissionais de áreas distintas (GARCÍA, 2012).

Neste ponto de vista, Liu (1996) utiliza a expressão *design thinking* para se referir ao modo como os designers (ou projetistas) atuam e como pensam. Trata-se de um processo iterativo e interativo no qual os designers primeiramente analisam o contexto de determinado problema e depois, no segundo momento, sugerem ideias para a resolução do problema utilizando desenhos; posteriormente observam o que foi desenhado em busca de novos caminhos e informações para direcionar o projeto (DO e GROSS, 2001; LLOYD e SCOTT, 1995 apud RAZZOUK e SHUTE, 2012). Esta definição sobre a atividade projetual é convergente com a visão de Donald Schön (1983) apresentada anteriormente.

A compreensão do modo heurístico de pensar despertou o interesse de pesquisadores deste campo de pesquisa, visando a compreensão deste fenômeno e a elaboração de estratégias diversas que estimulem este tipo de raciocínio. Algumas dessas estratégias foram utilizadas na disciplina de PA-II, como se observa na descrição abaixo:

3.3.2.1 A CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS

Esta etapa é responsável pelo entendimento inicial do problema projetual ao mesmo tempo que estimula a análise crítica e auxilia na construção de parâmetros projetuais por meio da pesquisa de tipologias e materiais análogos à proposta projetual apresentada. Este entendimento da problemática, somado à construção de repertório, permite a geração de novas propostas e a construção de um novo cenário uma vez introduzido o conceito de projeto (PONZIO e PIARDI, 2015).

3.3.2.2 STORYTELLING

A técnica de *storytelling* começou a ser utilizada na disciplina a partir de 2015 e é responsável pela elaboração de uma narrativa projetual para a fixação do conceito apresentado. Nesta etapa os alunos aprofundam-se no produto arquitetônico a ser elaborado criando uma história que relaciona a geração da forma e conceito ao público-alvo, procurando detalhar uma situação hipotética para constituir uma base mais próxima de uma situação real de projeto.

Segundo Stephen Denning, *storytelling* é uma maneira natural, fácil, divertida e energizante de envolver os indivíduos na construção de uma narrativa que ajuda a entender certas complexidades, aumentando ou modificando nossas percepções. Além disso, são fáceis de lembrar e são, por princípio, não-contraditórias e não-hierárquicas, esquivando-se das defesas naturais e envolvendo os sentimentos (DENNING, 2001). Desse modo, o *storytelling* foi uma técnica atraente para cativar os alunos nas atividades desempenhadas ao longo do semestre, criando um envolvimento psicológico com a atividade proposta, permitindo que os alunos

consigam tomar decisões e mudar comportamentos de acordo com as novas percepções que o *storytelling* proporciona.

3.3.2.3 CONSTRUÇÃO DO CONCEITO E PALAVRA-CHAVE

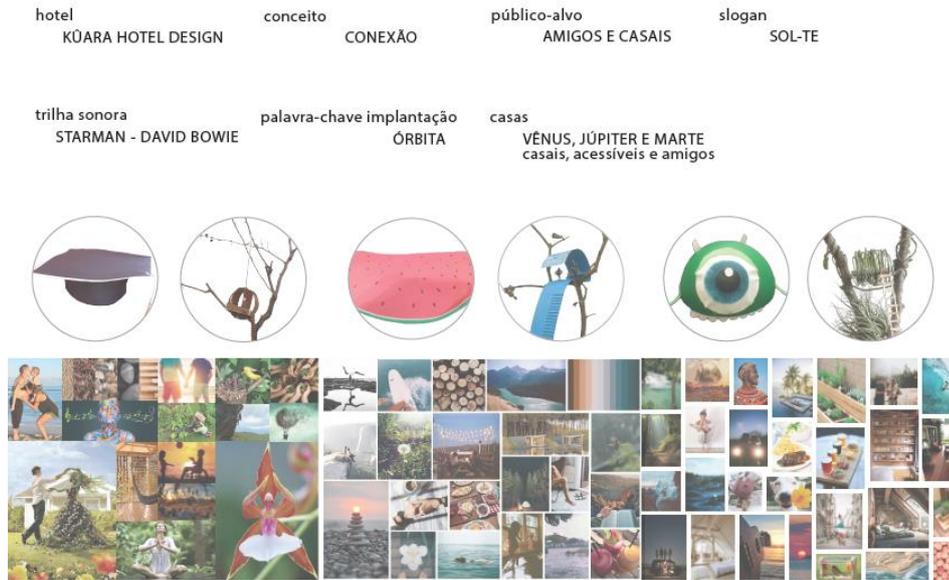
Um projeto de arquitetura ou de urbanismo normalmente é precedido de um conceito geratriz (BRANDÃO, 2001). Segundo o professor Carlos Antônio L. Brandão, desde a origem da palavra conceito¹³ existe uma conexão entre a atividade mental e teórica com a atividade prática. Trata-se, portanto, de um índice ou um signo que representa uma ideia ou a tradução de um propósito geral que pode ser contradito pelo próprio projeto (BRANDÃO, 2001). Por isso, a necessidade de embasar e fortalecer o conceito nas etapas iniciais do processo projetual para criar uma ligação forte entre a tomada de decisões e o conceito pré-definido.

O conceito serve como uma linha guia, uma amálgama que amarra as ideias e ações relacionadas a um determinado projeto. A partir de um conceito é possível gerar palavras-chave de referência projetual que buscam por meio de analogias ou metáforas conectar as ações de projeto ao conceito inicial (PONZIO e MACHADO, 2015).

Na disciplina de PA-II são definidos o conceito e a palavra-chave (figura 41) que norteiam todo o processo projetual empreendido pelo aluno. Dessa maneira é possível estabelecer certos direcionamentos e diminuir o medo da “folha em branco” que costuma anteceder a atividade projetual.

¹³Conceito, do latim *conceptum*, significa tanto pensamento e ideia quanto fruto ou feto. *Concipere*, por outro lado, engloba tanto o significado mais comum de gerar e conceber quanto as ações de reunir, conter, recolher, absorver, fecundar, entre outros. Dessa forma conceito está tanto ligado a atividade de gerar quanto a atividade de colher o resultado da ação (BRANDÃO, 2001).

Figura 41: Conceito e palavra chave



Fonte: Indivíduo F, Indivíduo J e Indivíduo M (2017)

3.3.2.4 BRAINSTORMING

O *brainstorm* consiste basicamente em uma “tempestade de ideias”, normalmente relacionada com atividades em grupo em que se sugere uma suspensão temporária do senso crítico em favor da elaboração de uma quantidade maior de ideias. Segundo Adrian Furnham (2000), o uso desta técnica foi proposto por Alex Osborn nos anos 1950 para encorajar a criatividade e teve início na área da propaganda e marketing. Atualmente é adotada em diversas áreas relacionadas à atividade criativa.

Na disciplina de PA-II essa técnica é aplicada na semana inicial do semestre, quando os alunos projetam uma casa na árvore (figura 42) baseados em um conceito e palavra-chave oriundos de um *brainstorming* individual passado à proposta por meio de analogias (PONZIO e MACHADO, 2015). Posteriormente a técnica é utilizada em outras etapas de grupo ou individualmente no decorrer do semestre.

Figura 42: Casa na árvore



Fonte: Indivíduo E



Fonte: Indivíduo G

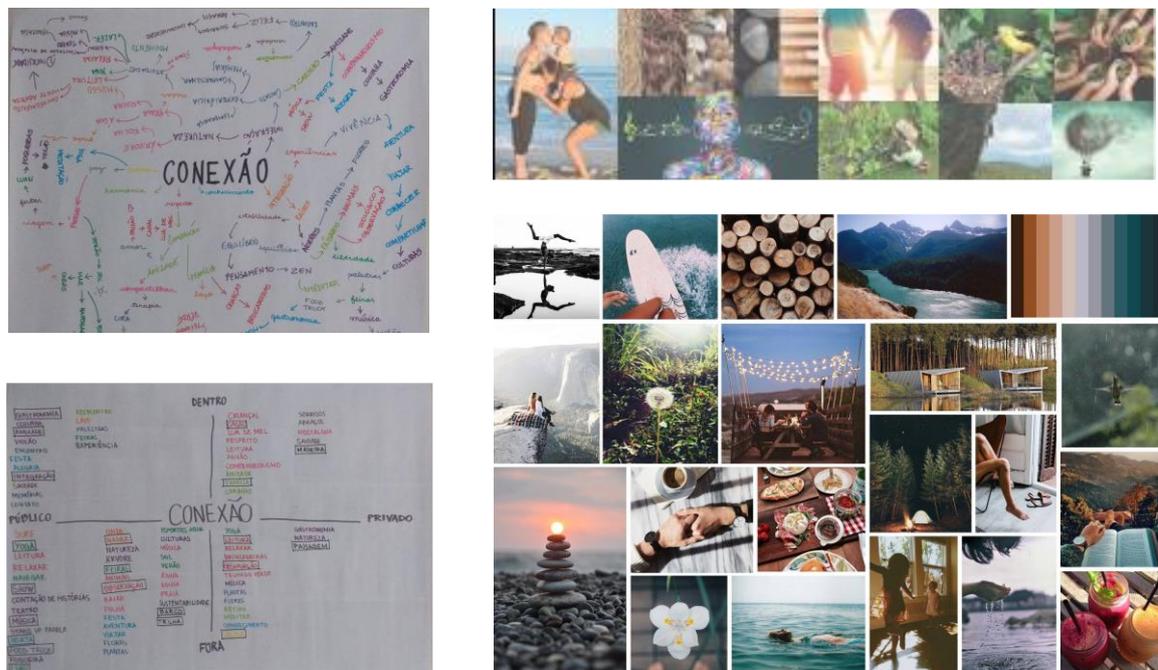
3.3.2.5 MAPAS MENTAIS E GRÁFICOS DE POLARIDADE

De acordo com Kowaltowski et al. (2011), o método de utilizar mapas mentais para estimular o pensamento criativo foi desenvolvido por Tony Buzan na década de 1960. Trata-se de um diagrama de palavras, ideias ou itens conectados a um conceito central de onde partem ramificações sucessivas, possibilitando o surgimento de um pensamento divergente e criando associações diretas e indiretas com o conceito inicial. Por ser um método de pensamento ramificado, utiliza o *brainstorm* realizado pelos alunos, trabalhando a fixação do conceito projetual e na proposição de novas ideias para as etapas posteriores. Já o gráfico de polaridades organiza as ideias originadas no mapa mental em um diagrama de eixos cartesianos que indica os polos opostos. No caso do exercício proposto, são indicados no diagrama os aspectos organizacionais do projeto, como dentro e fora, público e privado. No centro é inserida a palavra inicial utilizada para gerar o pensamento ramificado do mapa mental e em cada quadrante são alocadas as palavras geradas no mapa mental de acordo com a afinidade com os aspectos organizacionais distribuídos nos quadrantes, por exemplo privado-fora, público dentro.

3.3.2.6 MOODBOARD

Segundo Garner e McDonagh-Philp (2001), o *moodboard* é uma coleção de imagens, coletadas ou criadas, afixadas em um painel com o propósito de apresentar um “sentimento ou estado de espírito”. Caso sejam utilizados objetos, este painel adquire características tridimensionais. Podem ser usados objetos como fios, folhas, galhos, entre outros. Esta coleção de imagens e objetos têm o objetivo de representar emoções ou sentimentos oriundos do conceito inicial trabalhado pelos alunos para uma determinada abordagem projetual. Trata-se de um meio de comunicação visual, multissensorial, que auxilia o entendimento e estimula a inspiração em qualquer processo de projeto (MCDONAGH e DENTON, 2004). No caso da disciplina de PA-II, o *moodboard* é o catalizador do processo criativo, traduzindo as etapas anteriores de mapa mental e gráfico de polaridades que consistem prioritariamente de palavras, em um repertório visual (figura 43), e isso auxilia os alunos a compreenderem a “atmosfera” do projeto.

Figura 43: Mapa mental, gráfico de polaridades e moodboard conceitual.



Fonte: Indivíduo F, Indivíduo J e Indivíduo M (2017)

3.3.2.7 CHAPÉUS DO PENSAMENTO

É importante que os alunos, durante o processo de aprendizado, sejam capazes de tecer análises críticas a respeito do que é trabalhado nos ateliers de projeto. As articulações de críticas construtivas entre os alunos são benéficas para todos os envolvidos. Primeiramente para quem transmite a crítica, pois está aprimorando sua capacidade de análise e síntese, e também para quem recebe a crítica, pois tem neste momento a possibilidade de avaliar e, se for o caso, corrigir o problema apontado. A técnica do *chapéu do pensamento* foi elaborada por Edward de Bono na década de 1980 e tem como objetivo facilitar o debate ou sessão de avaliação empreendida entre os alunos, minimizando uma possível carga pessoal normalmente atribuída à crítica pela ordenação do pensamento (PONZIO e PIARDI, 2017).

Segundo De Bono (2008), o *chapéu do pensamento* permite a simplificação do pensamento, enfocando o tema a ser debatido sob perspectivas específicas. Ao todo são usados seis chapéus em sessões alternadas, e cada chapéu corresponde a um tipo de pensamento que será exercitado naquele momento: a sessão de identificação de riscos (chapéu preto); geração de ideias (chapéu verde); exposição de emoções (chapéu vermelho); busca de uma visão positiva (chapéu amarelo); apuração de informações (chapéu branco); e a de ordenação da própria reunião (chapéu azul) (BONO, DE, 1985).

Os chapéus do pensamento são produzidos pelos próprios estudantes de modo bastante lúdico. Durante a avaliação do *moodboard*, do mapa mental e do gráfico de polaridades inicia-se uma sessão de debate na qual os estudantes trocam os chapéus de maneira que todos tenham a oportunidade de tecer um comentário referente a cada uma das temáticas de pensamento correspondente aos seis chapéus. Assim eles são capazes de contribuir com o trabalho dos colegas ao mesmo tempo em que aprimoram sua capacidade de análise crítica.

No período de 2017/1, após análise do tempo empreendido em cada etapa, foi constatada uma equivalência entre o tempo empregado na fase criativa e na técnica. Esta equivalência pode ser resultado da iniciativa da disciplina de desenvolver o projeto em plataforma BIM. Uma vez que os alunos deste semestre ainda não haviam sido instruídos nesta plataforma, foi necessário a realização de aulas e oficinas de

instrumentalização na plataforma BIM, o que resultou em um aumento considerável do tempo dedicado à etapa técnica, e reduzindo parte do período que costumava ser dedicado à etapa criativa do projeto de interiores.

3.3.3 CONCLUSÃO ANÁLISE PA-II - 2017/1

O currículo acadêmico do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRGS está em plena transformação, assumindo aos poucos a plataforma BIM como uma das ferramentas computacionais mais relevantes na sua grade curricular. Trata-se de uma diretriz recente, de modo que algumas turmas do curso de arquitetura não tiveram a oportunidade de cursar a disciplina de instrumentalização em plataforma BIM. Esta situação ocorreu com os alunos da disciplina de PA-II no semestre 2017/1.

A disciplina PA-II assumiu um papel duplo, de instrumentalização e desenvolvimento de projeto, no qual os alunos lançaram seus partidos em croquis digitais (volumetrias de *Sketchup*) ou analógicos (desenhos manuais) e posteriormente partiram para a modelagem da estrutura em *woodframe* e detalhamento executivo na plataforma BIM. Dessa maneira, foi possível perceber que a plataforma BIM ainda não foi usada no processo criativo, mas apenas na etapa de representação gráfica e detalhamento de projeto.

Esta separação e equivalência entre os focos técnico e criativo no processo projetual não configura uma característica negativa do ponto de vista pedagógico. Na verdade, os projetistas não decidem apenas o partido arquitetônico que desejam obter, mas também como obtê-lo. Assim, é importante que os projetistas tenham conhecimento das tecnologias utilizadas para a construção de seus projetos (LAWSON, 2011), uma vez que o saber técnico possui um caráter imprescindível para a formação do profissional em arquitetura.

Todavia, para a aplicação de conceitos algoritmos, associada ao raciocínio criativo, é importante que se dedique mais tempo ao desenvolvimento cognitivo neste domínio de conhecimento, pois se trata de um conteúdo de caráter inovador e, ao mesmo tempo, com elevado grau de complexidade. Logo, para a proposta de intervenção empreendida no semestre 2017/2, foi necessário acentuar o enfoque nas etapas criativas do processo projetual em ambientes digitais. Além disso, uma abordagem algorítmica/paramétrica de projeto envolve o encadeamento entre a etapa

criativa e a técnica em um processo projetual contínuo, criando uma relação de correspondência e *feedback* em tempo real, o que possibilita que as etapas não mais sejam encaradas separadamente, mas concomitantemente.

A característica de entrelaçamento entre a etapa criativa e a técnica, presente na abordagem algorítmica/paramétrica, se dispõe a aprimorar outro ponto observado no decorrer da disciplina: a dificuldade que os alunos têm em conectar os conceitos iniciais com seus lançamentos formais, seja na etapa da implantação ou no projeto das unidades. Com a análise das atividades realizadas no semestre de 2017/1 percebeu-se que seria mais oportuno realizar a instrumentalização nos *softwares* algorítmicos/paramétricos e na plataforma BIM em paralelo com a disciplina de PA-II, permitindo essa se ocupe apenas das questões pertinentes ao raciocínio projetual. Assim pode dedicar mais tempo à etapa criativa do projeto arquitetônico. Esta conclusão resultou na intervenção ocorrida na disciplina de DA-III capacitando os alunos em *softwares* de lógica algorítmica simultaneamente à disciplina de PA-II.

3.4 PROJETO ARQUITETÔNICO II - SEMESTRE - 2017/2 - PROPOSTA

No período de 2017/2 os alunos matriculados na disciplina de PA-II já haviam sido capacitados na plataforma BIM durante o semestre anterior, na disciplina de Representação Gráfica II (RG-II). Com isso, a disciplina de projeto libertou-se da função de apresentar aos alunos a plataforma BIM e delegou à disciplina de DA-III a tarefa de capacitá-los em *softwares* de lógica algorítmica. No período de 2017/2 matricularam-se 15 alunos na disciplina de PA-II, turma C, dos quais 14 finalizaram a disciplina. Os alunos foram identificados com nomes fictícios para garantia de anonimato, conforme o termo de consentimento livre e esclarecido (apêndice B). Na tabela a seguir apresenta-se uma breve descrição dos indivíduos analisados.

Tabela 2: Descrição dos indivíduos pesquisados

	SEXO	IDADE	GÊNESE DA FORMA	CONCEITO DO PROJETO
INDIVÍDUO A	Feminino	21	Onda	Natural
INDIVÍDUO B	Masculino	21	Vento	Sentidos
INDIVÍDUO C	Masculino	25	Água	Fuga
INDIVÍDUO D	Masculino	21	Terra	Natural
INDIVÍDUO E	Masculino	23	Escama	Fuga
INDIVÍDUO F	Masculino	19	Relâmpago	Conexão
INDIVÍDUO G	Feminino	21	Fogo	Natural
INDIVÍDUO H	Feminino	19	Fogo	Gastronomia
INDIVÍDUO I	Masculino	19	NDA	Gastronomia
INDIVÍDUO J	Feminino	NDA	Constelação de Áries	Conexão
INDIVÍDUO K	Feminino	20	NDA	Sentidos
INDIVÍDUO L	Feminino	21	NDA	Sentidos
INDIVÍDUO M	Feminino	NDA	Concha	Conexão
INDIVÍDUO N	Masculino	19	Fogo	Gastronomia

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

De modo geral, as temáticas às quais a disciplina se reporta não foram alteradas, assim como a estrutura pedagógica. Todavia, foram sugeridas intervenções pontuais em dois momentos chave do processo projetual com objetivo de fornecer subsídios a um possível enfoque digital durante o raciocínio criativo por parte dos alunos como pode ser visto nas figuras 44 e 45.

Figura 44: Processo projetual da disciplina de PA-II

Figura 45: Intervenções em momentos chave



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Foi acrescentada uma aula expositiva na fase que antecedeu o lançamento da implantação (etapa de **Implantação - 2.2**, mencionada anteriormente) para complementar as bases teóricas e o repertório projetual, destacando os sistemas generativos e as arquiteturas paramétricas aplicadas a projetos de paisagismo e urbanismo. Estas aulas serviram para instigar a curiosidade dos alunos quanto às estratégias de projeto sugeridas, assim como fornecer um embasamento para auxiliá-los ao longo do processo criativo.

No semestre 2017/1, na fase que antecede ao lançamento do partido arquitetônico das edificações (etapa **Programática - 3.2**), foi ministrada uma aula para apresentar aos alunos algumas operações formais derivadas da gramática da forma. Em 2017/2, nesta mesma etapa, as aulas tiveram o objetivo de aprofundar o entendimento acerca da gramática da forma, apresentando os princípios dos elementos atômicos, dos sistemas e o vocabulário de formas. O objetivo final era introduzir um método de decomposição dos elementos formais de modo a gerar combinações e composições diversas a partir de um mesmo elemento inicial.

De acordo com Casakin (1997), é possível afirmar que os alunos se beneficiam destes repertórios visuais desde que sejam bem direcionados quanto ao uso das referências, utilizando analogias estruturadas para aprofundar seu entendimento a

respeito das referências apresentadas. A disciplina já possuía um enfoque acentuado no uso de repertório visual e analogias no processo projetual dos alunos. Contudo, em 2017/2, esse enfoque foi ampliado e modificado. Para isso, foram ministradas aulas teóricas e práticas com o objetivo específico de fornecer referências visuais e conceituais direcionados à elaboração de projeto no ambiente digital.

3.4.1 ABORDAGEM – ETAPA IMPLANTAÇÃO

A aula teórica teve como objetivo apresentar as abordagens projetuais do paisagismo e do urbanismo, identificadas nesta pesquisa como “*paisagens operativas*”, ministrada após a etapa de definição dos conceitos e palavras-chaves (etapa de **Implantação - 2.2**). Nestas aulas foram exibidos alguns projetos de paisagismo que possuíam estratégias projetuais com fortes referências a conceitos biológicos e matemáticos observados na natureza. Atualmente, com as ferramentas computacionais estas estratégias projetuais podem ser reproduzidas no ambiente digital com o uso de sistemas algorítmico-paramétricos.

Os alunos conheceram projetos que utilizam construções geométricas baseadas em equações matemáticas como os diagramas *Voronoi*¹⁴, a sequência de Fibonacci e o L-systems, entre outros. Estas construções formais têm em comum a possibilidade de sua descrição em termos matemático-algorítmicos, além de serem construções geométricas que podem ser facilmente encontradas na natureza. Assim foi possível demonstrar como articular os conceitos oriundos da natureza e utilizados formalmente em projetos de urbanismo e paisagismo, como se observa nas figuras 46, 47, 48 e 49.

¹⁴ De acordo com Aurenhammer (1991), os diagramas *Voronoi* podem ser definidos da seguinte forma: “dados um número de pontos em um plano, os diagramas *Voronoi* dividem o plano de acordo com a regra do vizinho mais próximo: cada ponto é associado com a região do plano mais próxima dele” (tradução nossa). Os diagramas *Voronoi* são observados na natureza em variadas situações e seus conceitos matemáticos são usados recentemente para a resolução de problemas em áreas como astronomia, antropologia, arqueologia, biologia, cartografia, cristalografia, meteorologia, linguística entre outras (OKABE *et al.*, 2009).

Figura 46: Diagrama Voronoi na natureza

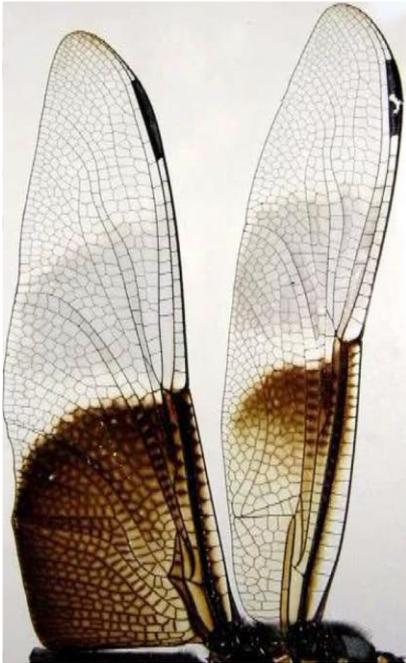
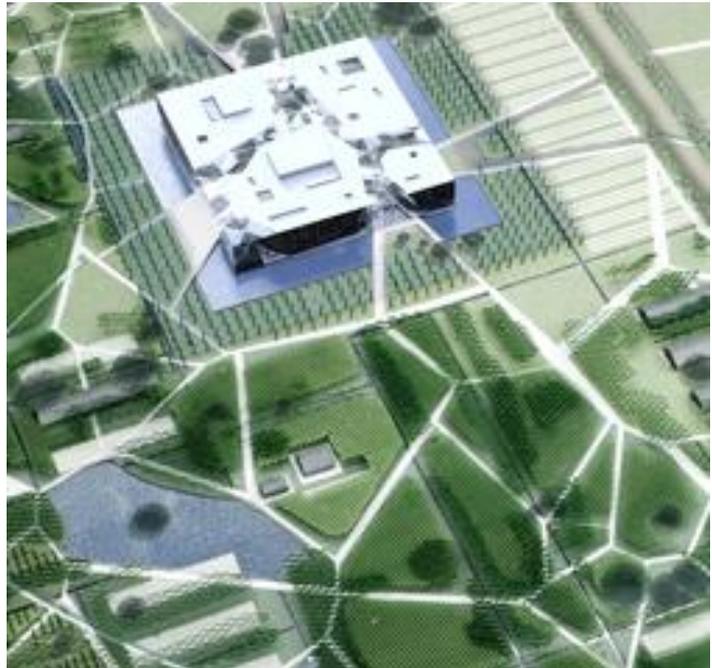


Figura 47: Projeto de paisagismo que utiliza diagramas Voronoi



Fonte Figura 46: http://www.dpchallenge.com/image.php?IMAGE_ID=198026

Fonte Figura 47: https://www.wac.gov.tw/english/homestyle.php?styl=02&dat_id=103

Figura 48: Sequência de Fibonacci na natureza.



Figura 49: Projeto que utiliza a sequência de Fibonacci para uma pérgula.



Fonte Figura 48: <https://www.joshuacripps.com/2008/08/aloe-polyphylla/>

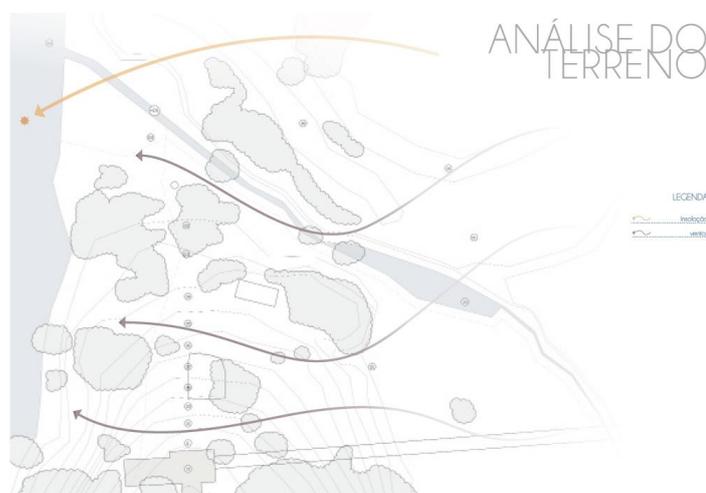
Fonte Figura 49: <https://twitter.com/gerrybobrien/status/887617089401434114>

As aulas expositivas causaram um impacto perceptível nas propostas dos alunos, pois três dos cinco grupos se inspiraram em elementos dinâmicos da natureza relacionados com seus conceitos, como o vento, o fluxo dos rios (figuras 50 e 51) ou a disposição de planetas e galáxias, por exemplo. No entanto, é importante frisar que tais propostas foram geradas de modo analógico, com o uso de desenhos e maquetes. Não havia tempo hábil nesta etapa para ensinar algoritmos que pudessem ser utilizados nas propostas de implantação apresentadas.

A disciplina de DA-III, responsável por esta instrumentalização, estava ainda em estágio inicial. Por isso, não podia fornecer todas as ferramentas necessárias para que os alunos utilizassem as estratégias algorítmicas já nesta etapa do projeto. Contudo, a escolha de utilizar linguagens orgânicas, naturais e biológicas como fonte de inspiração mostrou-se bastante relevante, pois se tornou aquilo que Brandão (2001) denomina “conceito geratriz” para os demais elementos de projeto, como os equipamentos de uso comum e as unidades habitacionais.

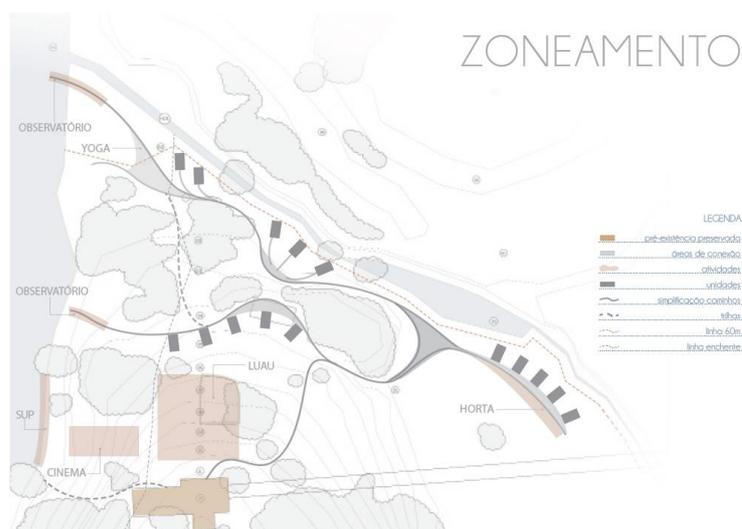
Ademais, o uso de uma lógica conceitual, amparada em um tema específico, neste caso, a natureza, foi capaz de evitar, de certa forma, que os alunos trabalhassem utilizando uma miscelânea de referências desconexas entre si. Assim, por mais que tenham ocorrido buscas por referenciais externos aos apresentados em aula, em boa parte dos casos os alunos buscavam adaptar as referências à linguagem conceitual já adotada nas etapas anteriores.

Figura 50: Análise do terreno de projeto



Fonte: Indivíduo K, Indivíduo L e Indivíduo B

Figura 51: Implantação baseada nos ventos predominantes



Fonte: Indivíduo K, Indivíduo L e Indivíduo B

3.4.2 ABORDAGEM – ETAPA PROGRAMÁTICA

Com os conceitos e palavras-chave utilizadas no lançamento do partido para a implantação, os alunos foram instruídos a gerar uma forma gráfica que sintetizasse o conceito do hotel. Esta forma-síntese poderia servir como um ícone, uma marca ou um símbolo do projeto e tinha o objetivo de traduzir em elementos gráficos simplificados os conceitos expressados até então majoritariamente em caráter textual.

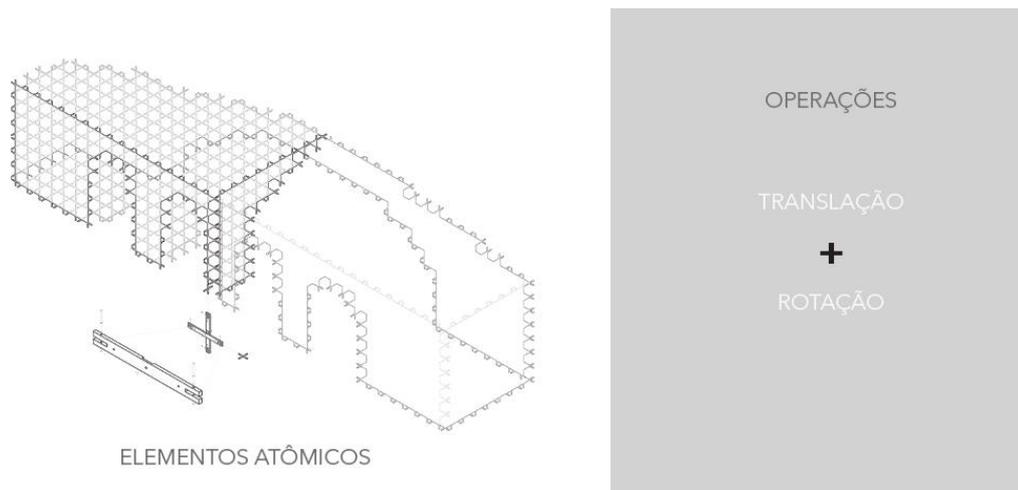
A forma-síntese teve o objetivo de costurar formalmente as etapas subsequentes da elaboração do partido arquitetônico, criando uma conexão coesa entre as etapas conceituais iniciais e as posteriores. Neste ponto, além do conteúdo já trabalhado foram realizadas mais três aulas sobre a gramática da forma com a intenção de mostrar as estratégias de decomposição da forma-síntese e recomposição de suas partes em novas formas e combinações.

3.4.2.1 GRAMÁTICA DA FORMA

Nas aulas adicionais foram trabalhados os conceitos de decomposição formal, apresentados por Mitchell (2008), identificando o que são elementos formais atômicos, conjuntos de elementos atômicos, vocabulários e sistemas (MITCHELL,

2008). Em seguida, expõem-se algumas noções de operações para composição formal, tal qual Mitchell apresenta em seu livro “A Lógica da Arquitetura” (2008). Tratam-se de operações como rotação, simetria, deformação, subtração e adição, entre outros, que, quando aplicadas aos elementos atômicos, proporcionam combinações de formas muito diversificadas (figura 52).

Figura 52: Identity Pavillion de Josep Ferrando – Elementos atômicos + Operações



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

As aulas teóricas deram origem a um exercício de composição formal. Os exercícios foram resolvidos no *plug-in* de programação visual *Grasshopper* e se basearam nos sistemas desenvolvidos por Gabriela Celani em sua tese de doutorado “Beyond analysis and representation in CAD: a new computational approach to design education” (CELANI, 2002). Neste trabalho, Celani ressalta sete pontos-chave no estudo da gramática da forma:

1. No “*Kindergarten grammars*”, de Stiny (STINY, 1980), simetria é um fator chave para determinar o número de diferentes maneiras que as formas podem ser combinadas.
2. Em “*The grammar of paradise*” (STINY e MITCHELL, 1980), os desenhos de jardins charbagh são obtidos por meio de subdivisões recursivas.
3. Regras de design são um dos quatro componentes da gramática da forma, conforme definido por Stiny (1980).
4. Gramáticas formais paramétricas são tipos especiais de gramática da forma, definidos por Stiny (1980).
5. Se os sistemas generativos são sistemas em que podem ser operadas uma variedade de potenciais soluções (MITCHELL, 1975), então a gramática da forma pode ser considerada um sistema generativo para formas que pertencem a uma família específica de formas.
6. Knight (2000) afirma que “gramáticas da forma são espaciais ao invés de algoritmos textuais ou simbólicos” que geram designs.

7. Emergência (de formas), “a habilidade de reconhecer e operar formas que não estão pré-definidas em uma gramática” é possível na gramática da forma, porque eles “tratam formas como entidades não atômicas (KNIGHT, 2000)” (CELANI, 2002 p 66 tradução nossa).

3.4.2.2 ALGORITMOS DE SIMETRIA

Os conceitos indicados por Celani foram fundamentais na elaboração do exercício, pois, assim como o sistema proposto pela autora, o objetivo não era ensinar diretamente a gramática da forma, mas utilizar seus preceitos em um processo criativo de composição formal no ambiente digital. Mas é importante frisar que para a atividade proposta não foi imposto aos alunos o uso obrigatório do ambiente digital. Os procedimentos oriundos da gramática da forma são passíveis de serem realizados em meio analógico. Foi dada liberdade de meios para realizar o exercício, ressaltando, no entanto, as potencialidades que o ambiente digital oferece para este tipo de abordagem. Esta liberdade de meios teve o intuito de envolver até mesmo os indivíduos que têm resistência em realizar seu processo criativo em ambiente digital.

O objetivo principal do exercício era introduzir um processo lúdico de exploração formal no ambiente digital que gerasse uma grande variedade de opções formais, porém mantendo sua origem na forma-síntese e guardando uma coerência com os conceitos definidos nas etapas anteriores. Desse modo, foi possível observar como um conceito pode se desdobrar em uma grande variedade de opções formais para se trabalhar o partido arquitetônico.

Foram produzidos algoritmos digitais no *software Grasshopper* para que os alunos pudessem manusear as formas atômicas ou conjuntos de elementos e gerar combinações a partir de operações formais simétricas ou recursivas. Os quatro algoritmos distintos alternavam-se entre operações bidimensionais e tridimensionais, como pode ser visto abaixo.

Figura 53: Operações paramétricas bidimensionais

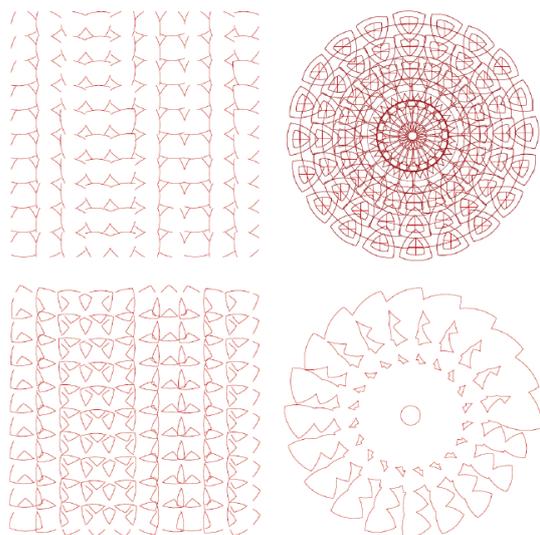
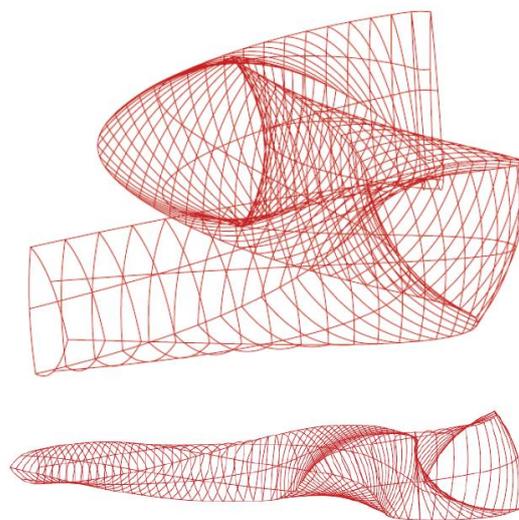


Figura 54: Operações paramétricas tridimensionais



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Os algoritmos bidimensionais são compostos por operações de rotação e translação que podem ser aleatórias ou controladas por parâmetros, além de operações booleanas entre figuras. Os algoritmos tridimensionais se compõem de operações de rotação nos eixos x, y, z e de translação distribuídas ao longo de uma linha-diretriz. Além disso, foi utilizado o comando *loft* para geração de superfícies especificamente nos algoritmos tridimensionais.

Como material complementar foram gerados vídeo-tutoriais *online* para auxiliar os alunos a trabalharem com os algoritmos gerados. É importante salientar que a intenção deste exercício não era ensiná-los a criar os algoritmos e sim utilizá-los como colaborador no processo criativo.

Nesta etapa percebeu-se muita resistência por parte dos alunos em utilizar algoritmos no processo criativo, seja pela dificuldade em utilizar o software proposto ou mesmo pela discordância da proposta apresentada. Por isso, foi sugerida a possibilidade de que eles trabalhassem os conceitos apresentados nos algoritmos de modo manual, utilizando maquetes ou croquis. Entretanto, a despeito dessa resistência, apenas dois alunos deixaram de utilizar o algoritmo no processo criativo, fazendo uso somente das operações formais realizadas por eles.

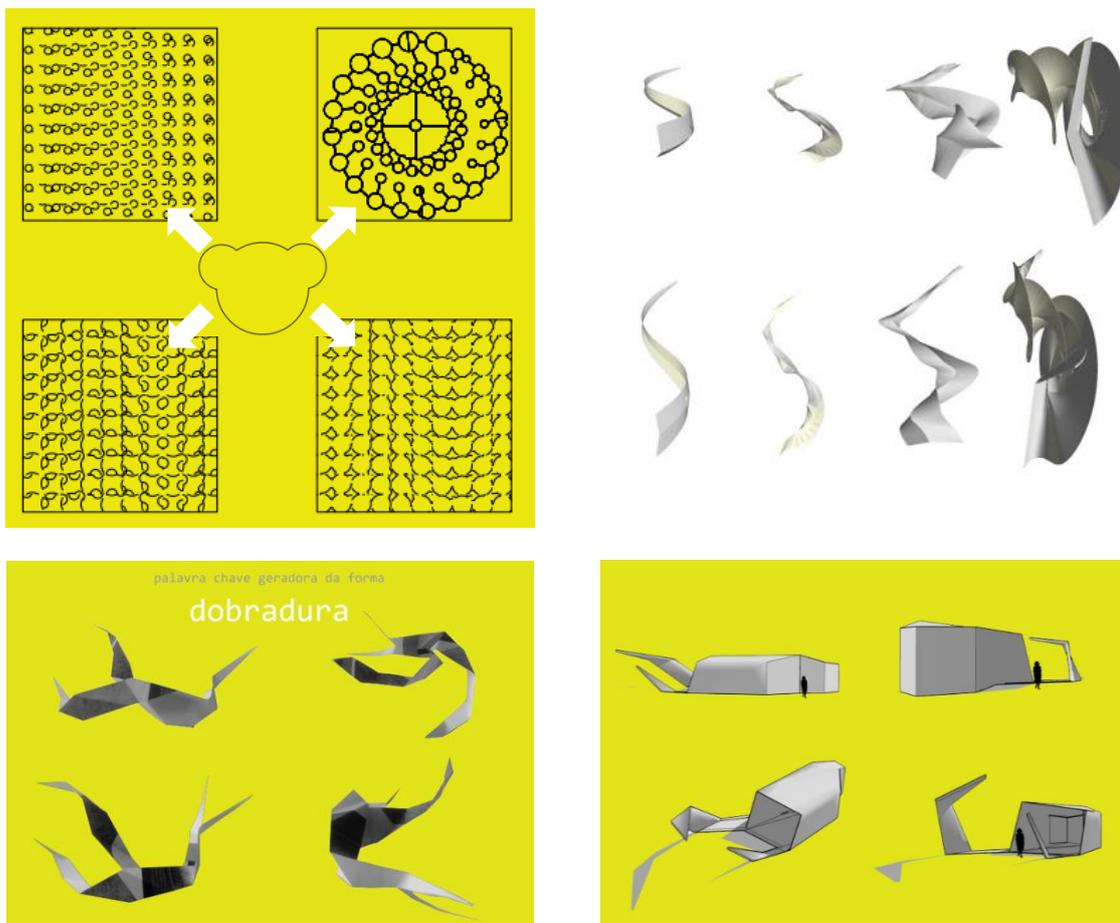
O fato de trabalharem de modo manual, porém, não representou um problema, ou uma desvantagem. Na verdade, um dos alunos, em etapa posterior, acabou usando o *software Grasshopper* para criar o seu partido formal, assim como nas

etapas subsequentes do desenvolvimento do projeto, gerando uma das formas mais complexas e desafiadoras de se trabalhar neste semestre.

3.4.2.3 ORGANIZAÇÃO DOS RESULTADOS

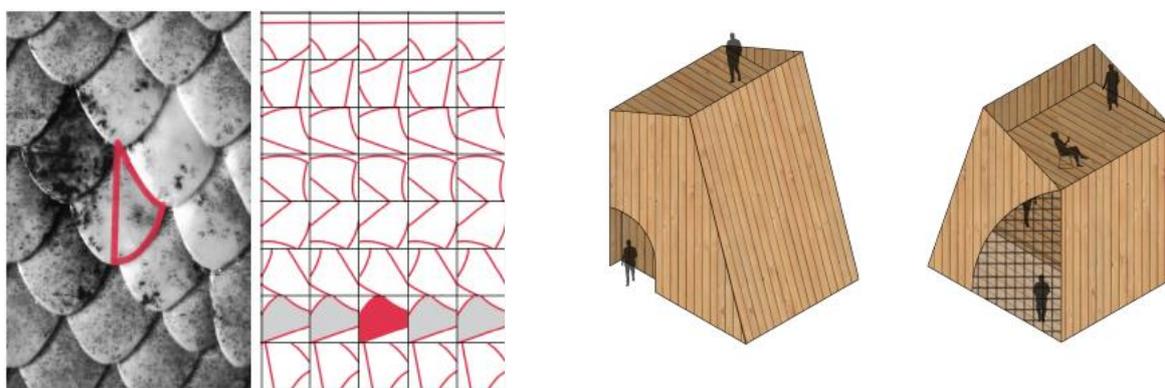
Uma vez feitas as experimentações, foi solicitado aos alunos que escolhessem padrões ou volumetrias que considerassem interessantes para utilizar como gênese de seus partidos arquitetônicos (figuras 55, 56 e 57). Realizou-se então um painel intermediário para avaliar os resultados obtidos e analisar o nível de influência que as estratégias paramétricas tiveram nestes partidos e a complexidade topológica que cada uma das propostas apresentava.

Figura 55: Processo gerador de forma – Gramática da Forma.



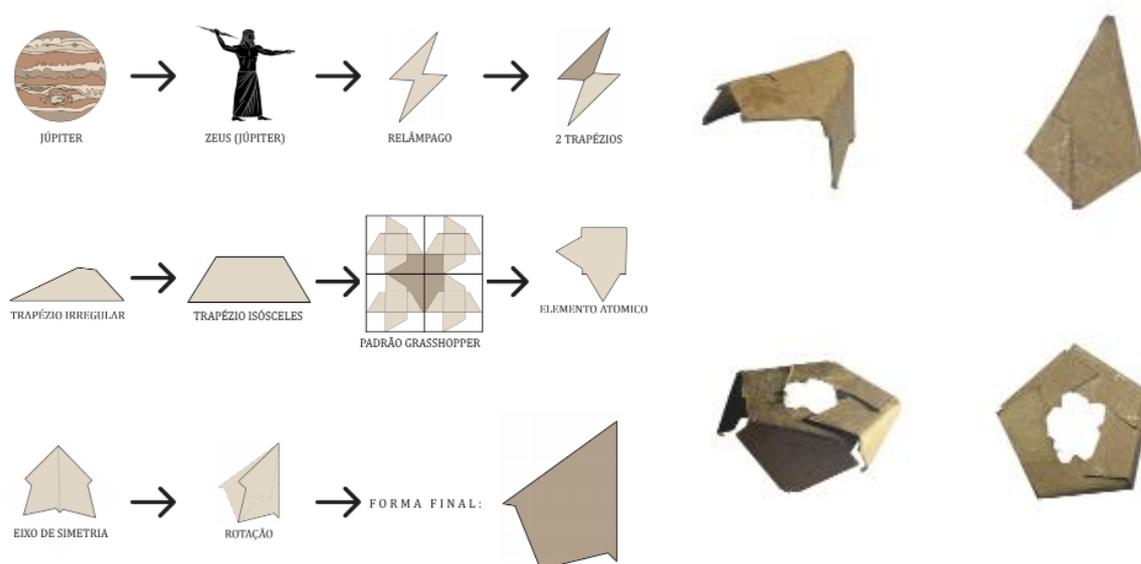
Fonte: Indivíduo C

Figura 56: Processo gerador de forma – Gramática da Forma.



Fonte: Indivíduo E

Figura 57: Processo gerador de forma – Gramática da Forma.



Fonte: Indivíduo F

Conforme a complexidade topológica, os trabalhos foram separados em três categorias:

T1 – Aqueles pouco influenciados pelo exercício paramétrico em suas decisões formais e que apresentaram uma topologia convencional nas propostas, isto é, formas prismáticas de paredes ortogonais e com coberturas de inclinações convencionais.

T2 – Aqueles que foram influenciados pelo exercício paramétrico, apresentando formas ou soluções com alguma complexidade formal. Caso estes

alunos optassem por aprofundar-se no estudo das formas e estas resultassem em formas complexas, eles poderiam ser classificados na categoria T3, caso contrário como T1.

T3 – Trabalhos fortemente influenciados pelo exercício paramétrico, apresentando formas ou soluções complexas para suas volumetrias iniciais. Para estes alunos, foi indicado que os trabalhos fossem desenvolvidos nas plataformas algorítmicas/paramétricas e BIM de forma integrada.

Ao final da etapa de estudo preliminar das habitações, realizou-se o painel final, no qual os alunos se dividiram entre as categorias T1 e T3, sendo 10 alunos na categoria T1 e quatro na T3. Assim, esta última categoria reuniu quase 1/3 da turma. Aos alunos pertencentes à categoria T3 foram oferecidas orientações específicas, dentro e fora do horário de aula, para auxiliá-los quanto ao uso das plataformas digitais nas etapas subsequentes do projeto, permitindo que eles gerassem suas volumetrias dentro do ambiente digital e evitando limitar suas ideias pela falta de destreza em utilizar ferramentas digitais de lógica algorítmica.

3.4.2.4 PROCESSO PROJETUAL ALGORÍTMICO

Os alunos da categoria T3 foram instruídos a modelar seus partidos formais utilizando o *software* de modelagem *Rhinoceros 5* e o *plug-in* de programação visual *Grasshopper*. Para isso foi necessário que eles entendessem as relações geométricas entre os elementos da edificação, gerando superfícies controladas por parâmetros, que regiam não somente suas dimensões, mas também as relações entre os componentes construtivos. Nesta etapa foi possível notar nos alunos um aprimoramento no entendimento acerca de composições e manipulações geométricas assim como na visão espacial. Somente o fato de a modelagem para o partido formal ser produzida a partir da explicitação das relações geométricas foi uma mudança de paradigma para os alunos da categoria T3. Nesta abordagem tornou-se imprescindível entender o espectro de possibilidades que se buscava obter para então traçar uma estratégia de modelagem que permitisse um total controle e possível variação dos elementos geométricos e só então iniciar a modelagem.

Nos semestres anteriores a 2017/2, os alunos tiveram contato com *softwares* como *Autocad* para representação gráfica, *Sketchup* para modelagem tridimensional

e *Archicad* que possui ambas as funções citadas anteriormente por utilizar a plataforma BIM. Sob diversos aspectos, a modelagem realizada no *Sketchup* ou no *Archicad* difere do *Rhinoceros 5* associado ao *Grasshopper*, tanto no que concerne à abordagem, como a própria lógica da modelagem.

O *Sketchup* possui uma interface intuitiva e uma barra de ferramentas simples, onde é possível modelar geometrias simples ou parcialmente complexas de modo fluído e ágil. Por outro lado, o *Rhinoceros 5* trata-se de um *software* de modelagem NURBS capaz de representar superfícies planares e “livres” (*free-form*). Assim como o *Sketchup* as geometrias geradas pelo *Rhinoceros 5* são estáticas. Contudo, com o uso do seu *plug-in* *Grasshopper* é possível criar geometrias com características paramétricas (PRATT *et al.*, 2012).

A modelagem no *Sketchup* acontece a partir da ação direta do usuário enquanto no *Grasshopper* se dá com a ação indireta, com o uso de programação visual. Logo, no que concerne a uma abordagem paramétrica, as relações geométricas que se pretende realizar devem estar explícitas e claras, normalmente ensejando um planejamento que antecede o ato de modelar. É este planejamento, aliado à criação de um algoritmo, que permite ao aluno o aprimoramento do entendimento das relações geométricas e espaciais.

A modelagem do partido arquitetônico realizada no *Rhinoceros 5 + Grasshopper*, apesar de tratar de formas complexas, utilizou um raciocínio relativamente simples para sua execução. Aproveitando o caráter modular da técnica construtiva adotada na disciplina, optou-se por modelar as superfícies externas que delimitavam a volumetria e, a partir deste ponto, elaborar lógicas que o seccionassem para dar origem aos perfis que lhe serviriam de estrutura e os painéis para o fechamento, de modo semelhante ao processo de modelagem realizado em DA-III.

Para três alunos da categoria T3, poucas linhas desenhadas no *Rhinoceros 5* foram necessárias para gerar a volumetria da edificação. Mesmo estas linhas poderiam ser descritas pelo *Grasshopper*, porém optou-se por executá-las no *Rhinoceros 5* para fornecer, nesta etapa da modelagem, um controle mais intuitivo e próximo ao que os alunos estavam acostumados ao trabalhar no *Sketchup*.

De qualquer maneira, uma vez que estas linhas tenham sido internalizadas no *Grasshopper*, todas as demais operações tiveram origem nestas geometrias, gerando

uma relação de interdependência entre as partes e o todo, e isso perdurou até a etapa de detalhamento da edificação. Com o sistema de construção geométrica totalmente integrado, foi possível fazer alterações na forma, mesmo em etapas avançadas do projeto sem a necessidade de refazer etapas anteriores, o que se revelou um grande trunfo para as etapas mais avançadas do projeto.

Assim delinear-se dois processos distintos para a produção do modelo BIM. Os alunos da categoria T1 iniciaram a modelagem da edificação utilizando somente o *Archicad* ou em associação com o *Autocad* e *Skechtup*, enquanto os alunos da categoria T3 utilizaram a combinação de softwares *Rhinoceros 5 + Grasshopper + GALC + Archicad*. Apesar de parecer que os alunos da categoria T3 tiveram que lidar com uma miscelânea muito extensa de *softwares*, a transição entre a modelagem obtida com o uso de programação algorítmica visual para a plataforma BIM ocorreu de modo bastante fluido, pois a transmissão de dados acontecia em tempo real graças ao *plug-in GALC*. Enquanto os alunos da categoria T1 modelavam suas edificações de modo convencional, isto é, modelando item a item, os alunos da categoria T3 utilizaram lógicas paramétricas na modelagem, criando raciocínios capazes de descrever as relações entre as estruturas e fechamentos com as superfícies iniciais.

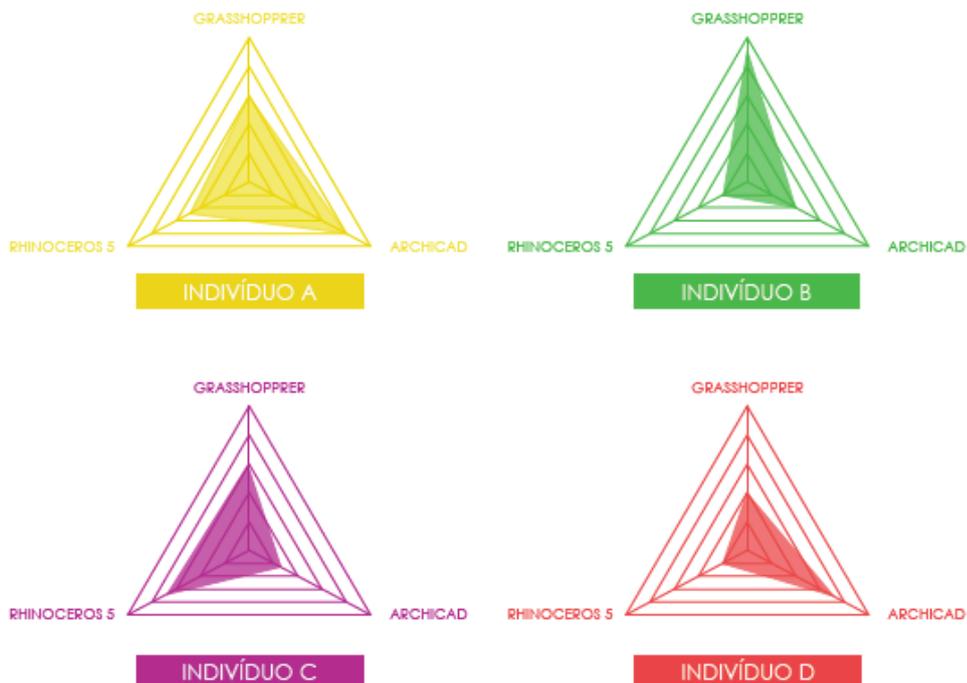
Uma vez que o modelo dos alunos da categoria T3 foi transmitido para a plataforma BIM, iniciou-se um processo de refinamento e complementação do modelo virtual para obter os detalhamentos exigidos para a entrega final. Neste ponto, os processos de produção, tanto dos alunos na categoria T3 como da T1, voltaram a ser similares, pois o modelo utilizado para detalhamento não mais dependia das definições obtidas pelo *Grasshopper*. Nesta etapa, portanto, o modelo foi desvinculado de sua origem paramétrica.

Até este momento da etapa projetual, os alunos da categoria T3 usavam o modelo paramétrico, conectado à plataforma BIM, que relacionava todos os elementos construtivos aos parâmetros delineados nos algoritmos e às superfícies ou linhas iniciais desenhadas no *Rhinoceros 5*. Isto possibilitou que até a etapa de fenestrações e detalhamento eles pudessem fazer mudanças no partido arquitetônico volumétrico, as quais eram transmitidas automaticamente para todos os componentes construtivos. Como resultado, os alunos da categoria T3 puderam experimentar alterações em seus partidos arquitetônicos sem que isso exigisse uma grande quantidade de retrabalho.

É importante frisar que todos os alunos T3 elaboraram seus trabalhos utilizando o ambiente digital algorítmico com assessoramento constante, presencial e online. As aulas ministradas na disciplina de DA-III não foram suficientes para torna-los autossuficientes quanto ao uso do *Grasshopper*, tampouco possuíam tal intenção, mas serviram para familiarizá-los com a linguagem e com os comandos nativos do *software*, permitindo que elaborassem seus algoritmos com um entendimento claro do processo ao qual estavam submetendo os modelos virtuais.

Dois dos alunos na categoria T3 utilizaram muitas linhas de controle para a modelagem, desenhadas no *Rhinceros 5*, enquanto os outros dois trabalharam apenas com poucas linhas guias no mesmo *software*. Enquanto três dos alunos T3 utilizaram o *Grasshopper* para desenhar praticamente todos os componentes construtivos, um deles, o indivíduo A utilizou apenas para modelar os componentes construtivos das geometrias mais complexas e, uma vez tendo isso resolvido, complementou o modelo utilizando diretamente o *Archicad*, podemos observar estas diferenças de abordagem nos gráficos a seguir.

Figura 58: Diagramas com as diferentes abordagens empreendidas pelos alunos

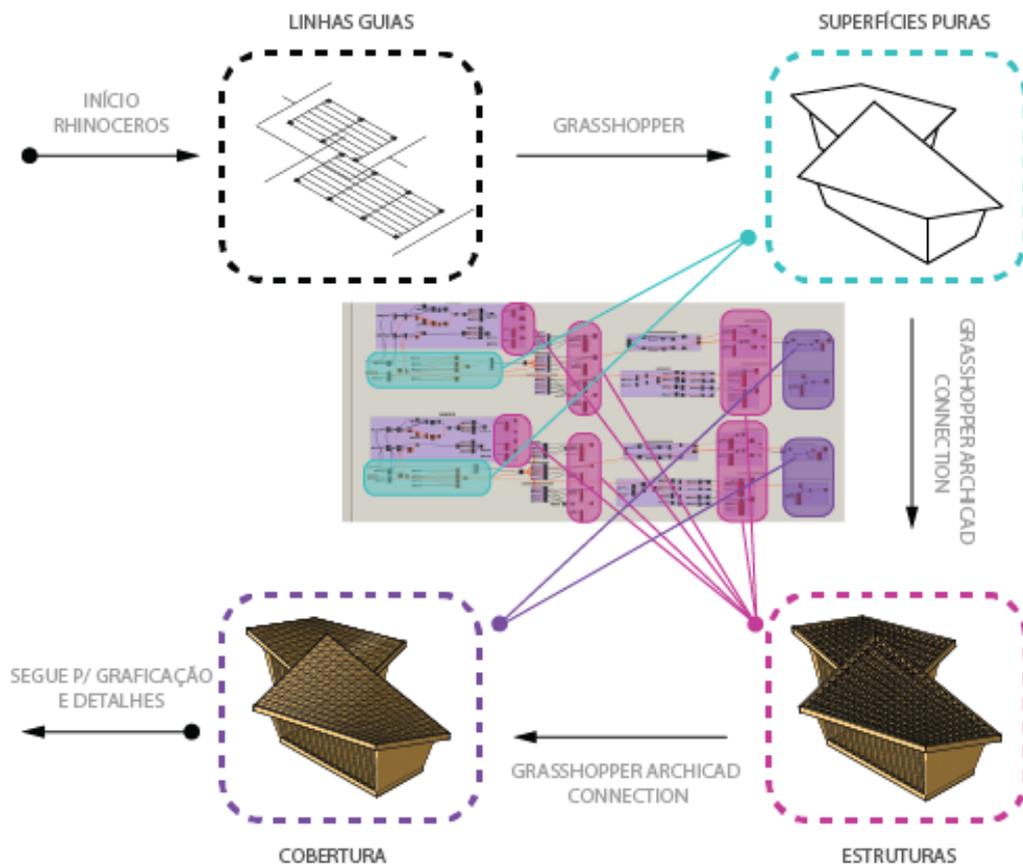


Fonte:Elaborado pelo autor, 2018

3.4.2.5 FLUXO DE TRABALHO

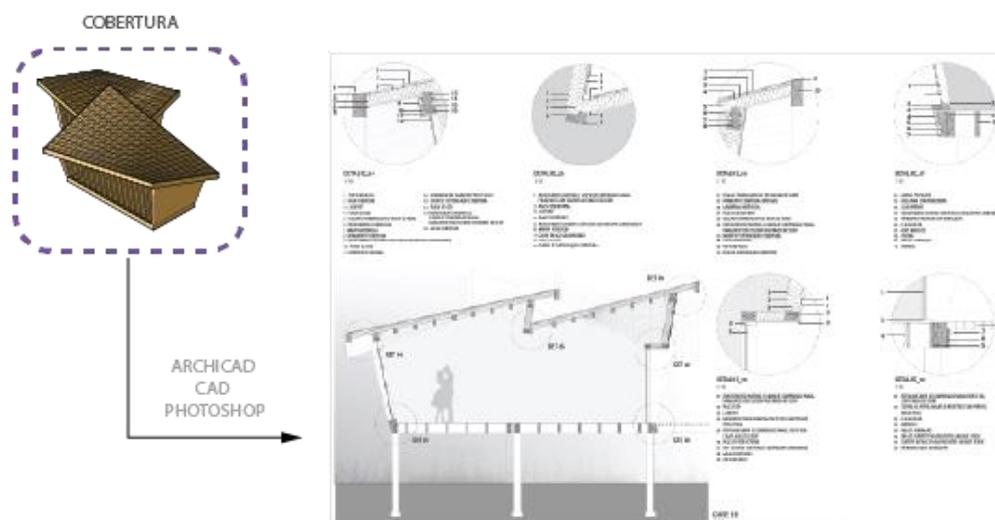
Para a entrega final, os alunos utilizaram outros *softwares* para auxiliar a representação gráfica dos desenhos técnicos e dos detalhes, tais como o *Autocad*, o *Photoshop* e o *Illustrator*. A seguir, nas figuras 59 e 60, pode-se observar o fluxo de trabalho dos alunos da categoria T3 bem como os *softwares* utilizados para a representação gráfica.

Figura 59: Fluxo de trabalho para modelagem da unidade de habitação - Indivíduo B (T3)



Fonte: Organizado pelo autor baseado no trabalho do indivíduo B, 2018

Figura 60: Do modelo para a representação gráfica - Diferentes softwares

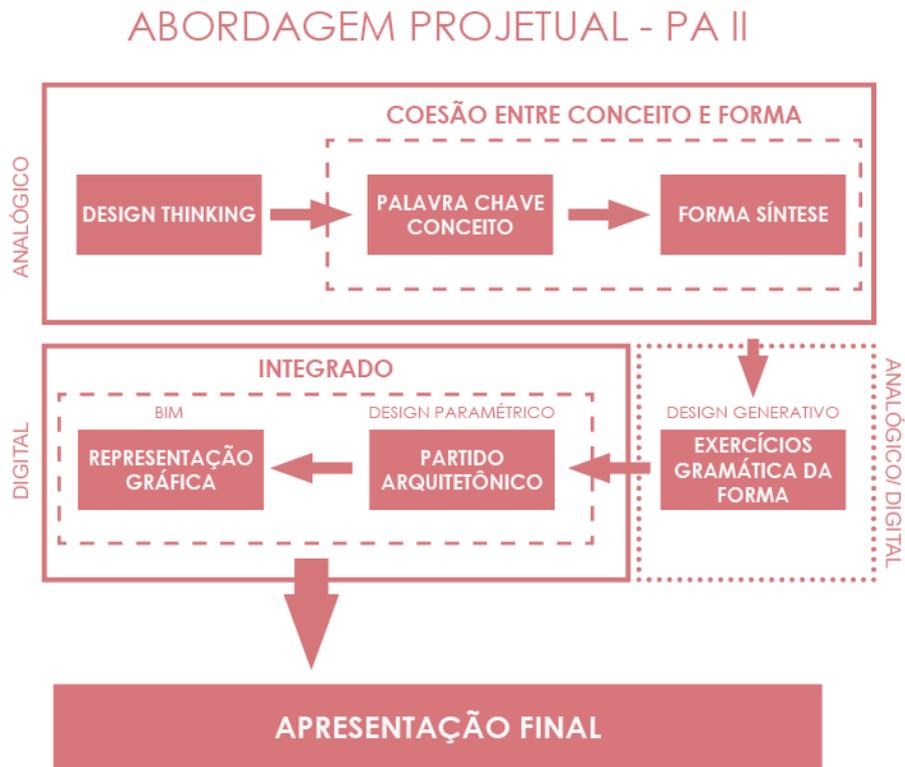


Fonte: Organizado pelo autor baseado no trabalho do indivíduo B, 2018

A abordagem pedagógica adota em aula apresentou aos alunos conceitos inovadores da arquitetura digital. Utilizou um sistema generativo para exploração gráfica e formal e posteriormente desenvolveu um sistema parametrizado do partido arquitetônico volumétrico dos alunos na categoria T3. Mais à frente foi usado um *plugin* de integração entre o *software* de modelagem algorítmica e a plataforma BIM, para transmitir os dados da modelagem obtida pelo *Grasshopper* para o *Archicad* simultaneamente, possibilitando aos alunos com projetos envolvendo formas complexas obterem desenhos técnicos e detalhamentos de modo mais fluído e natural.

Muito embora o foco desta dissertação seja a integração entre as abordagens acima citadas, é importante salientar que do ponto de vista algorítmico não houve uma conexão direta entre as explorações formais obtidas pela gramática da forma com o sistema paramétrico elaborado posteriormente, ou seja, os processos se deram separadamente, sem haver uma conexão algorítmica entre as explorações formais iniciais e o partido arquitetônico obtido ao final do processo criativo, como podemos ver no diagrama a seguir:

Figura 61: Processo Projetual PA-II



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Por este motivo, não é possível classificar que o processo projetual empregado neste semestre tenha sido o design generativo, e sim o design paramétrico, uma vez que a conexão algorítmica com o sistema generativo não se manteve em todas as etapas do processo, ao passo que o sistema paramétrico elaborado pelos alunos se manteve, mesmo após o lançamento do partido arquitetônico, aplicado até as etapas finais da produção de seus projetos.

4 DISCUSSÃO DE RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS

Ao final do semestre foram coletados e analisados diferentes tipos de dados com o objetivo de compreender melhor o problema estudado e aferir se houve uma contribuição positiva com as intervenções feitas nas disciplinas-alvo do estudo. Os dados coletados consistem basicamente em:

1. Registros fotográficos;
2. Anotações de aula;
3. Depoimentos dos alunos;
4. Os trabalhos finais entregues ao final do semestre;
5. Entrevistas semiestruturadas com os alunos via *Google Forms*;
6. Algoritmos gerados durante o semestre (apenas pelos alunos da categoria T3).
7. Cronogramas das disciplinas de DA-III e PA-II (Anexos A e B)

Os indivíduos pesquisados, por sua vez, foram indicados por nomes fictícios, conforme mencionado anteriormente (tabela 2), sendo os quatro primeiros relativos aos indivíduos categorizados como T3 no estudo e os demais correspondentes aos indivíduos categorizados como T1.

4.1 POTENCIALIDADES

Observando o resultado final obtido pelos alunos da categoria T3, é possível afirmar que houve êxito na intervenção proposta uma vez que os alunos que se propuseram a trabalhar com formas complexas conseguiram concluir o semestre com conteúdo suficiente para aprovação. Todavia esta proposta pedagógica precisa ser aprimorada para tornar-se de fato uma estratégia de ensino funcional e replicável em outras instituições de ensino.

De um ponto de vista prático, no entanto, todos os alunos que se propuseram a trabalhar com geometrias complexas conseguiram fazer uso do *software* algorítmico/paramétrico para elaborar o partido arquitetônico formal e executar a

representação gráfica com a integração do modelo paramétrico com a plataforma BIM, ou seja, a destreza necessária para executar a representação gráfica e as volumetrias não foi impeditivo para execução do projeto.

Em uma análise comparativa é possível observar como os alunos da categoria T3 conseguiram alcançar um grau de complexidade formal superior, tanto em comparação com os projetos produzidos em 2017/1 quanto os projetos realizados em 2017/2 pertencentes a categoria T1. É possível perceber como a maioria dos partidos arquitetônicos analisados são formados com a geração de um perfil, situado em planta ou vista, e uma extrusão simples no sentido X, Y, ou Z, aliados a algumas poucas operações booleanas de sólidos (figuras 62 e 63). Por outro lado, os alunos pertencentes à categoria T3 empregaram operações mais complexas e sofisticadas do ponto de vista geométrico, como *lofts* de perfis variáveis ou alterações volumétricas por triangulação, gerando superfícies não-coplanares, curvas, ou com alturas e alinhamentos variáveis (figura 64).

Figura 62: Volumetrias 2017/1

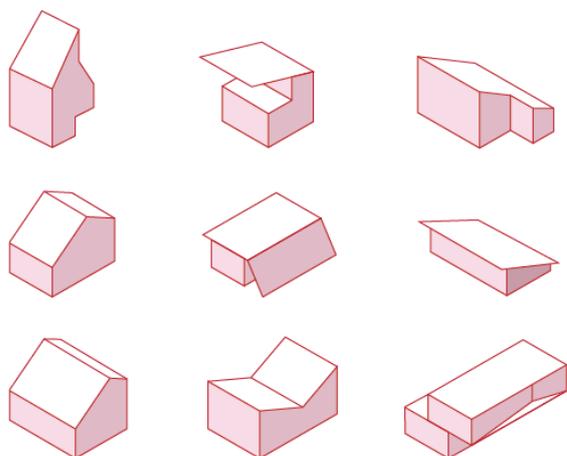


Figura 63: Volumetrias 2017/2 – Categoria T1

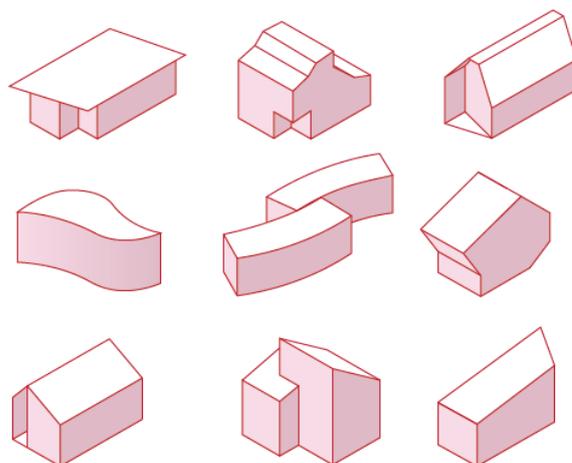
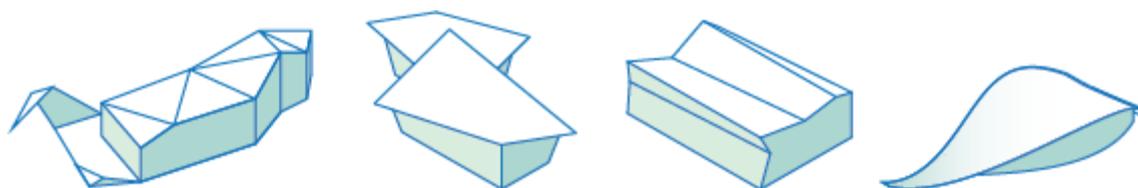


Figura 64: Volumetrias 2017/2 – Categoria T3



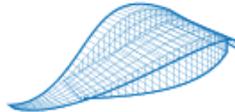
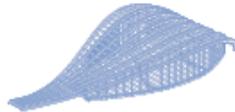
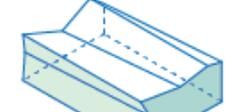
Assim, para estes alunos foi necessário focar na elaboração de processos projetuais distintos que fossem capazes de lidar com a complexidade formal no âmbito construtivo, tanto quanto permitir a liberdade na criação e variação das formas. Ao final do semestre, no entanto, o processo algorítmico para a elaboração dos projetos T3 poderia ser utilizado também para a descrição geométrica e construtiva dos trabalhos categorizados como T1, uma vez que a abordagem algorítmica empreendida durante a pesquisa teve seu foco voltado para o processo projetual. Logo, uma vez definidas as superfícies gerais do partido volumétrico, todo o processo de descrição das linhas guias e perfis estruturais e fechamento é bastante similar.

É possível separar o processo projetual realizado por este estudo em cinco etapas distintas, tal qual foi apresentada na disciplina de DA-III:

- 1 – Modelagem das superfícies (*Rhinoceros 5 + Grasshopper*);
- 2 – Descrição das linhas guias (*Grasshopper*);
- 3 – Descrição dos perfis estruturais (integrado *Archicad*);
- 4 – Modelagem das superfícies de fechamento (integrado *Archicad*);
- 5 – Detalhamento e representação gráfica final (*Archicad* e softwares diversos).

Portanto, neste processo projetual, a elaboração de formas complexas representa apenas 1/5 do processo projetual, logo, uma vez que o projetista consiga descrever suas superfícies primárias, o restante do processo tende a se adaptar às volumetrias. Neste estudo, houve pouca variação nos procedimentos posteriores à modelagem das superfícies do ponto de vista conceitual, mesmo com as formas tão divergentes elaboradas na categoria T3 (figura 65). Isso nos leva a crer que este sistema poderia facilmente se adaptar a formas mais regulares, prismáticas e ortogonais.

Figura 65: Processo de Modelagem – T3

	Linhas gerais	Superfícies	Linhas guia estruturais	Estrutura Woodframe
Indivíduo A				
Indivíduo C				
Indivíduo D				
Indivíduo B				
	Rhinoceros 5	Grasshopper	Grasshopper	GALC

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Um desdobramento possível para este estudo seria a elaboração de um algoritmo em conjunto com os alunos, que fosse capaz de se adaptar, sem a necessidade de alterações na composição de seus componentes, às mais variadas formas propostas permitindo assim que fosse possível voltar sua atenção para a exploração formal e conceitual do seu partido arquitetônico sem, no entanto, deixar de lado o aprendizado adquirido ao se trabalhar com estruturas em *woodframe*.

Mesmo havendo similaridade entre os procedimentos pós-modelagem, os algoritmos produzidos pelos alunos, em conjunto com o pesquisador, são bastante diferentes entre si. Esta variação ocorreu devido ao nível de aprofundamento na elaboração do algoritmo e ao nível de complexidade formal de cada proposta. Assim,

o fluxo de trabalho adotado pelos alunos que decidiram permanecer na categoria T3 tornou-se bastante similar, no que concerne aos *softwares* e às técnicas utilizadas. Contudo, foi possível constatar diferentes níveis de desenvolvimento do partido arquitetônico nos diferentes softwares empregados no processo, como se observa na tabela abaixo:

Tabela 3: Nível de aprofundamento nos softwares trabalhados

T3	<i>RHINOCEROS 5</i>	<i>GRASSHOPPER</i>	<i>ARCHICAD 21</i>
INDIVÍDUO A	Baixo	Médio	Alto
INDIVÍDUO B	Baixo	Alto	Baixo
INDIVÍDUO C	Alto	Médio	Baixo
INDIVÍDUO D	Baixo	Médio	Alto

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

De modo geral, os alunos avaliaram como positiva a apresentação de *softwares* paramétricos e algoritmos ao longo do semestre, pois alguns deles vêm como um diferencial, outros como um dos caminhos futuros que a arquitetura tende a seguir, conforme declarado por todos os estudantes entrevistados. Abaixo é possível observar algumas destas afirmações:

Na sua opinião, quais as potencialidades da abordagem paramétrica em projetos de arquitetura?

Indivíduo N (T1)

A abordagem paramétrica possibilita uma nova visão da arquitetura e expande seu potencial ao interagir com a computação avançada. Dessa forma, projetos iguais podem ser resolvidos de formas muito mais variadas e criativas.

Indivíduo B (T3)

Não tenho dúvidas de que a parametria é o futuro da arquitetura. Não digo isso pelo fato da capacidade de criar uma arquitetura diferenciada visualmente, mas principalmente pelo modo como

o projeto é organizado e como os conceitos são tratados de forma analítica e de quantas novas soluções diferenciadas são geradas a partir disso.

Indivíduo H (T1)

Como falei anteriormente, acredito que a abordagem paramétrica libera, de certo modo, nossa criatividade e nos faz pensar melhor na temática de um projeto, não somente na simples resolução do projeto através de um volume que comporte o programa requisitado. Isso pode tornar o estudo, a concepção e o desenvolvimento do projeto algo muito interessante, lúdico e agregador.

Indivíduo L (T1)

Conforme citado anteriormente, esta nova abordagem permite uma série de inovações no processo de criação do projeto pois nos desprende das formas regulares e limitadas as quais estamos acostumados, gerando uma gama de possibilidades infinitamente maior. Sem o auxílio destas ferramentas seria muito mais complicado executar projetos que fogem dos modelos básicos ou até mesmo impossível, dependendo do projeto.

A pesquisa revelou que a maioria dos alunos sente-se bastante à vontade em elaborar seus projetos utilizando somente mídias digitais ou um misto entre mídias analógicas e digitais. É possível notar, no entanto, que as abordagens na plataforma digital seguem os paradigmas convencionais de projeto. Ou seja, tratam-se de abordagens orientadas ao objeto, transmitindo para a plataforma digital o mesmo processo que operavam analogicamente, como croquis e maquetes físicas.

Estas respostas mostram a relevância do estudo realizado, apresentando um novo paradigma focado no processo projetual, permitindo flexibilidade e variabilidade até nas etapas finais do processo projetual, e permite uma exploração formal e volumétrica mais livre de restrições se comparada com a abordagem projetual empreendida na plataforma BIM (WAHBEH, 2017).

Existem indícios de que as ferramentas utilizadas em um processo projetual podem, por vezes, atuar como limitadoras do processo criativo, pois fazem com que o indivíduo limite suas intenções projetuais à sua destreza instrumental. A resposta do Indivíduo K pode ser considerada como indício dessa limitação, uma vez que demonstra sua preferência em trabalhar com uma “(...)volumetria fácil de ser representada (...)” em *softwares* previamente conhecidos como pode ser visto abaixo:

Houve contribuição do software de modelagem algorítmica nas suas primeiras etapas da concepção formal da unidade habitacional? Comente.

Indivíduo K (T1)

Não, pois eu escolhi uma volumetria fácil de ser representada em programas que eu já conhecia.

Neste aspecto, a pesquisa aqui realizada oferece uma nova perspectiva projetual, uma vez que deu liberdade criativa para que os alunos pudessem experimentar e explorar novas formas, mas também forneceu subsídios instrumentais para aqueles que optaram por trabalhar com formas complexas, oferecendo uma maior facilidade e segurança em lidar com o resultado de seus projetos em um sentido mais técnico e pragmático.

A despeito das dificuldades que a pesquisa realizada nesta dissertação revelou, o sistema de integração entre os *softwares* de modelagem algorítmica e BIM foi de grande utilidade para unir a composição volumétrica, estrutural e a representação gráfica nos projetos na categoria T3, sem o qual alguns dos alunos alegam que talvez não seria possível sequer produzir o partido arquitetônico e tampouco sua representação gráfica, como pode ser constatado abaixo:

Na sua avaliação qual foi a importância da abordagem paramétrica na concepção do seu projeto? Por quê?

Indivíduo C (T3)

Foi de total importância. Acredito que demoraria mais para desenvolver uma volumetria e esquema estrutural em outra plataforma, tendo que mudar constantemente o projeto. A parametrização ajudou nesse processo.

Indivíduo A (T3)

Foi muito importante pois eu perdi aquela limitação que se tem quando está pensando no projeto. Antes eu pensava algo e já achava que ia ser complicado de representar ou modelar, apresentar ao público. Depois da abordagem me "desprendi" dessa ideia e foquei em pensar no projeto e depois me preocupar com a representação.

Indivíduo D (T3)

Possibilitou a criação de uma forma diferente, que não seria capaz nos softwares convencionais.

Indivíduo B (T3)

Inicialmente, imaginei que a proposta da cadeira de PA2 seria viabilizar a construção de um hotel de campo, uma obra executável e que inclusive poderia se tornar realidade levando em conta as palavras do proprietário do terreno. Todavia, com o passar do tempo entendi, que a abordagem da cadeira era completamente outra: sermos livres para criar formas orgânicas sem nos amarrarmos por completo na viabilidade real de execução da obra, criar algo excêntrico e sermos destemidos. A partir desse contexto estabelecido, acredito que a abordagem paramétrica foi implantada com racionalidade na cadeira - não que este recurso funcione somente neste caso específico, mas nos demos maior liberdade para inovar. Levando em conta meu projeto, sem o uso das ferramentas paramétricas, ele seria impossível de ser projetado, principalmente pelo fato de seu conceito formal já prever a utilização da parametria. Contudo, é claro para mim que o projeto que entreguei no final do semestre é puramente um exercício paramétrico, uma experiência, pois sua viabilidade construtiva, tendo em conta o contexto real das forças que regem um projeto deste tipo foram ignoradas. Com isso, pode-se dizer que a abordagem paramétrica serviu para dois fatores: descobrir e aprender um novo modo de fazer arquitetura e que esse modo por vezes não condiz com certas situações.

Com relação a resposta do Indivíduo D, é importante salientar que as formas trabalhadas durante o semestre do estudo seriam possíveis de serem realizadas em plataformas como a BIM por exemplo. Atualmente, mesmo sem a integração com *softwares* algorítmicos/paramétricos, é possível alcançar um grau de complexidade formal acentuado em *programas* como *Revit* e *Archicad*. Contudo, tratam-se modelagens complexas que exigem alto nível de conhecimento nos softwares devido à própria característica da plataforma BIM além de não contemplarem a variabilidade formal de forma rápida ou intuitiva.

Quanto à resposta do Indivíduo B, é possível constatar um equívoco na sua assertiva. Primeiramente, a disciplina forneceu todos os meios possíveis para que o

projeto realizado pelos alunos fosse exequível, técnica e construtivamente. Para isso, fornecemos bibliografias sobre a técnica construtiva e assessoramentos em grupo e individual, além de contar com o auxílio de um engenheiro especialista em estruturas de madeira que se propôs a analisar caso a caso, apontando problemas e correções necessárias nos modelos produzidos durante o período da disciplina.

Ao final do semestre, todos os projetos foram considerados exequíveis, sendo este, um dos requisitos mínimos para aprovação na disciplina. Efetivamente, os projetos elaborados pelos alunos da categoria T3 foram considerados mais complexos para construir, principalmente aqueles que possuem superfícies não-coplanares. Do ponto de vista construtivo e financeiro, esta característica torna tais projetos menos atraentes para sua execução no contexto real.

É relevante destacar, no entanto, que o caráter exploratório adotado na disciplina, no que concerne às técnicas construtivas e viabilidade financeira, não é uma exclusividade da disciplina de PA-II. Disciplinas de projeto com o intuito de ensinar indivíduos a pensar e a criar devem ser, por definição, exploratórias. O processo projetual não ocorre de modo linear e padronizado. De fato, muitas foram as tentativas de padronizar a atividade projetual em um método racionalista, principalmente na década de 1960, e todas falharam (KOSHINEN *et al.*, 2011). Assim, a atividade projetual como disciplina deve proporcionar liberdade para a exploração e o desenvolvimento do processo projetual particular de cada indivíduo.

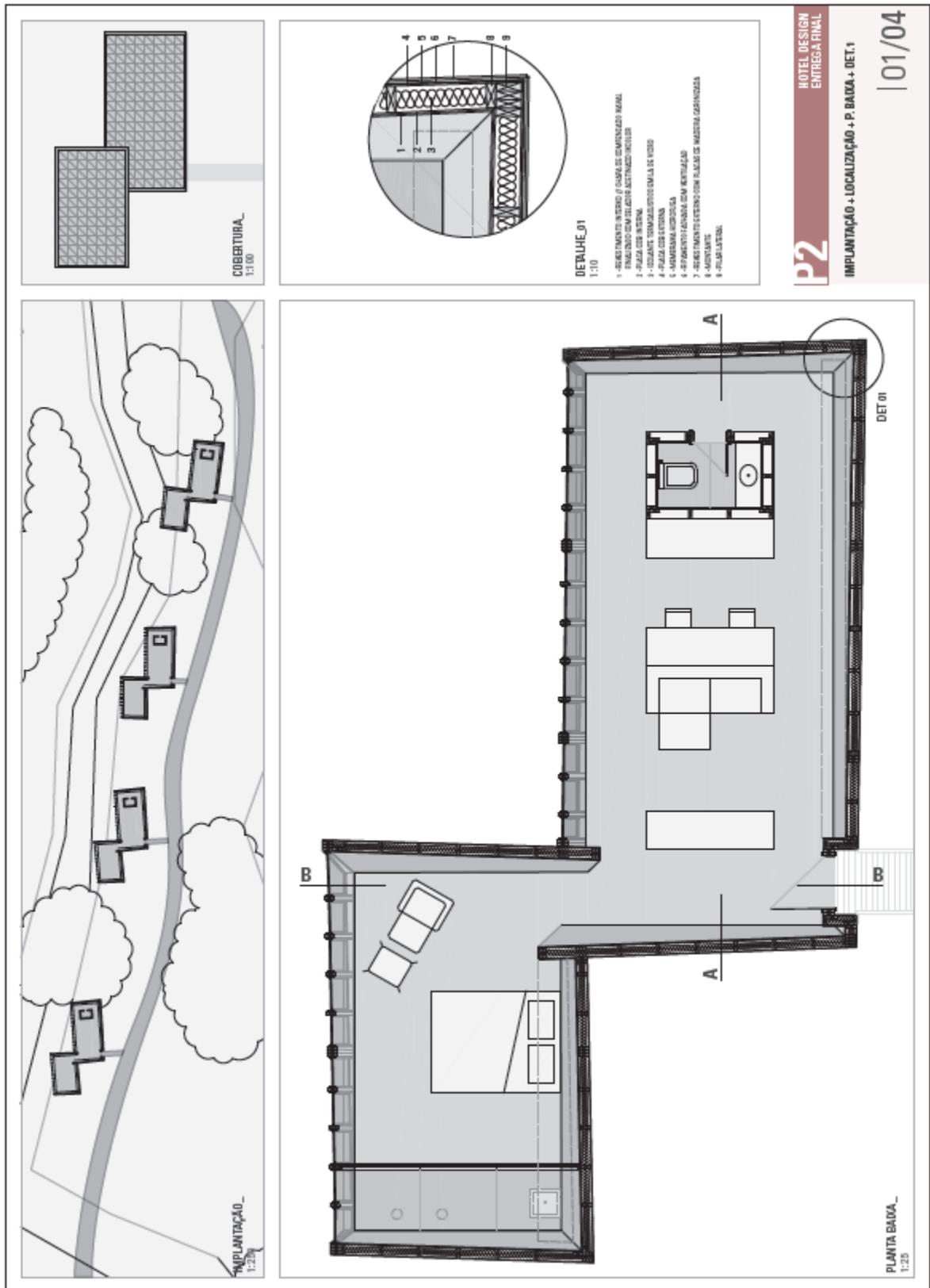
São raras as disciplinas de projeto que exigem como requisito de aprovação tabelas de custos ou um compromisso firmado com a utilização das técnicas construtivas e materiais básicos disponíveis no mercado. Normalmente as exigências quanto a esses aspectos nas disciplinas de projeto são bastante subjetivas, deixando o ensino mais técnico e rigoroso a cargo de disciplinas específicas que tenham foco na economia e na gestão da edificação ou em técnicas construtivas.

O estudo aqui relatado objetivou uma facilitação da etapa de exploração formal com o intuito de facilitar o processo e valeu-se do método construtivo escolhido para elaborar um sistema que fosse capaz de moldar as peças estruturais e de vedação a estas formas, diminuindo a dificuldade de trabalhar as formas complexas no *woodframe*. Além disso, os alunos se valeram da integração entre o *Grasshopper* e o

Archicad para superar os problemas habituais que projetos dessa natureza costumam apresentar quando são feitas as representações gráficas e técnicas.

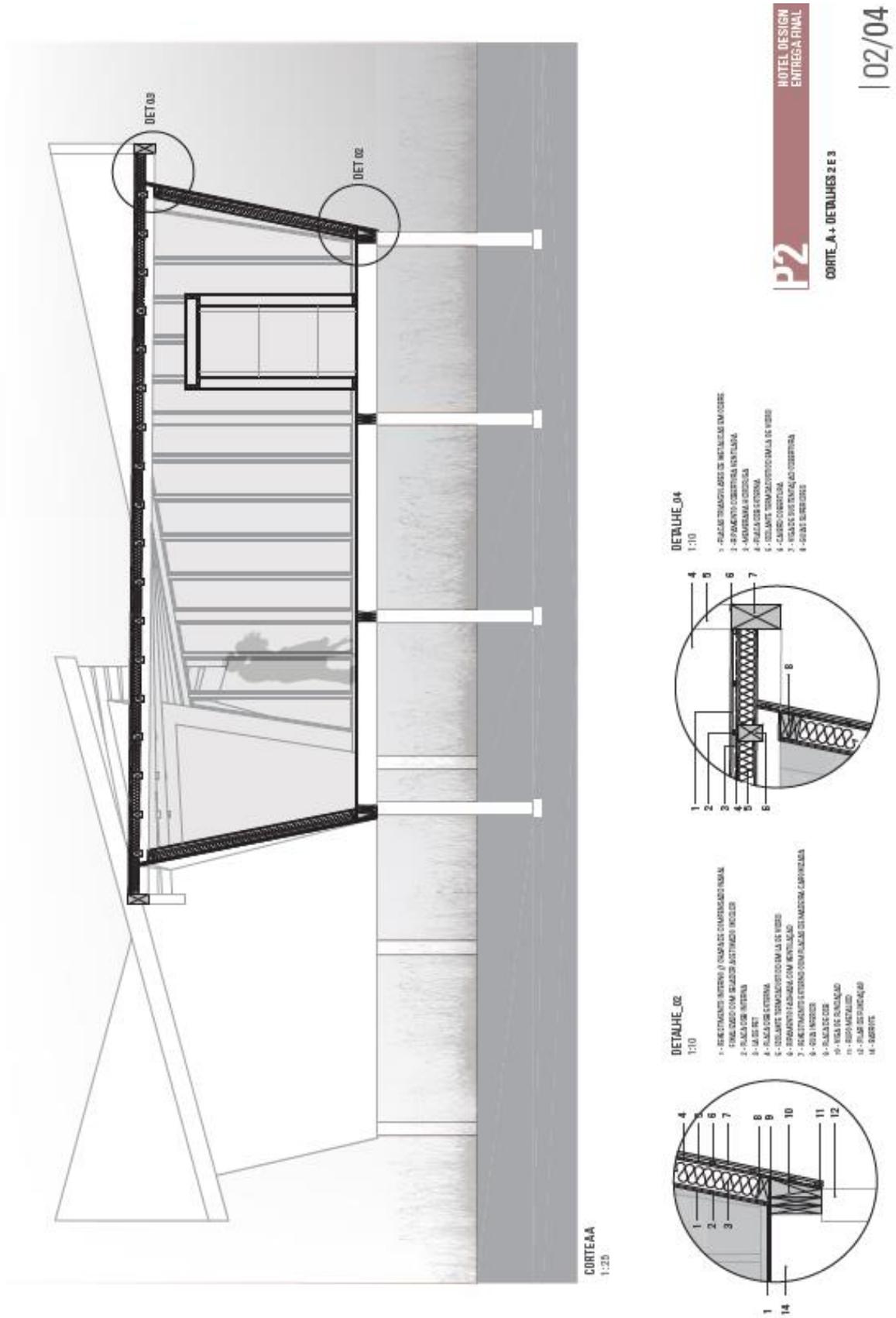
Assim sendo, os alunos da categoria T3, apesar de trabalharem com formas mais livres, conseguiram chegar no mesmo nível de detalhamento e de representação técnica que os demais colegas da categoria T1, como é possível observar nas figuras 66, 67 e 68:

Figura 66: Desenhos técnicos - projeto categoria T3



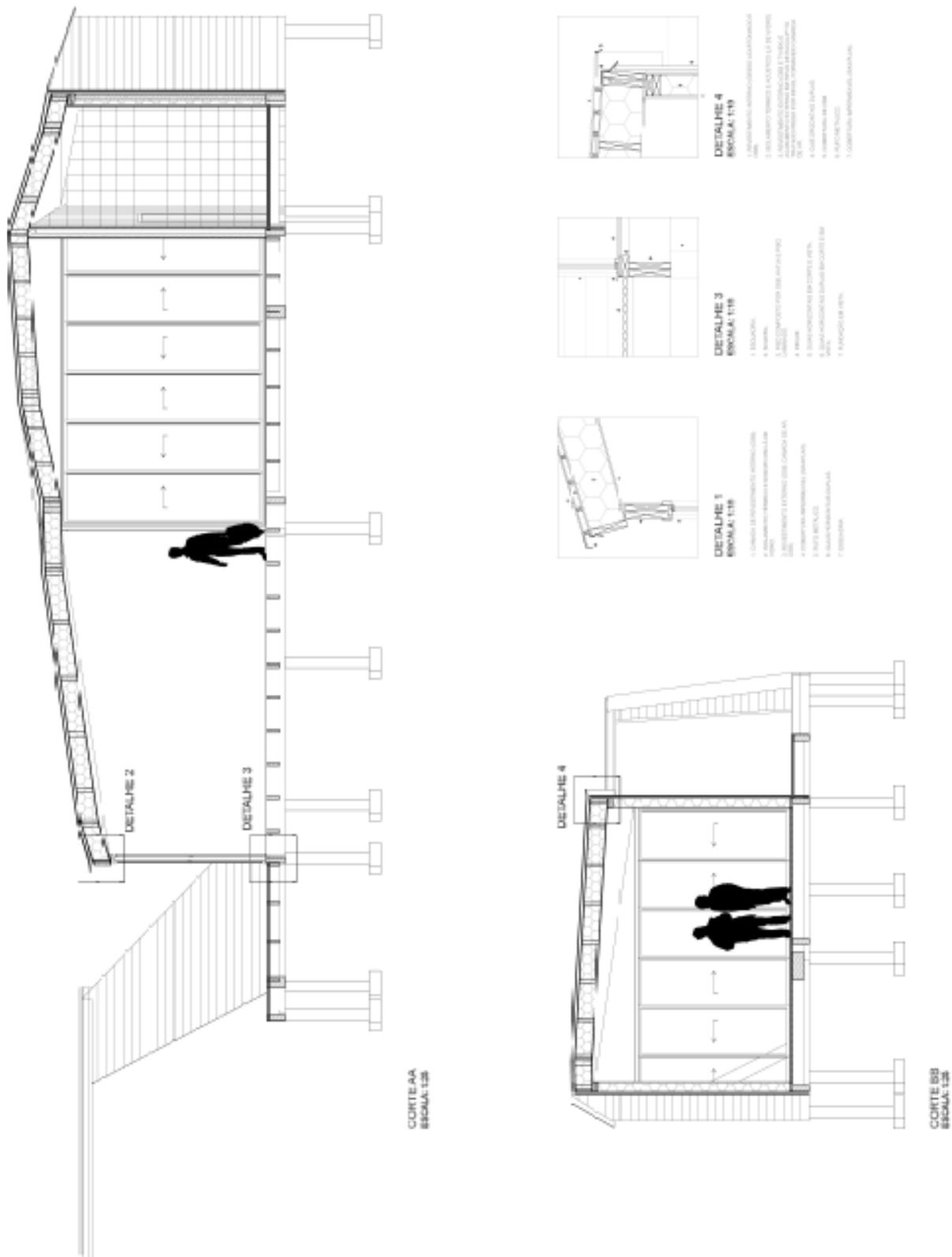
Fonte: Indivíduo B – 2017/2

Figura 67: Desenhos técnicos - projeto categoria T3



Fonte: Indivíduo B – 2017/2

Figura 68: Desenhos técnicos - projeto categoria T3



Fonte: Indivíduo C – 2017/2

No decorrer das aulas alguns alunos relataram a dificuldade em utilizar o raciocínio algorítmico e empregar sistemas paramétricos na exploração formal. Apesar disso, ao final da proposta pedagógica, nove dos 12 entrevistados consideraram a possibilidade de usar sistemas paramétricos em projetos futuros, o que se revela um forte indicativo da aceitação desta proposta de ensino, pois serviu para despertar o interesse entre alunos por esta quebra de paradigma e desmistificar o design paramétrico, como podemos constatar nas respostas abaixo:

Pretende utilizar o raciocínio projetual paramétrico em projetos futuros?

Indivíduo F (T1)

Sim, gostei bastante da ideia de não se limitar com a representação e com demais detalhes. Gostei também da ideia de mobiliário paramétrico, pretendo utiliza-la em um projeto no escritório em que trabalho.

Indivíduo D (T3)

Espero seguir evoluindo no aprendizado da parametria, entretanto há dois pontos importantes: o primeiro é a falta de abertura dada a esse tipo de arquitetura em um curso de arquitetura que preconiza o modernismo acima de tudo e, o segundo, pretendo usar os recursos paramétricos para executar somente partes específicas do projeto, mas não ele por inteiro. Também tenho o interesse de evoluir no aprendizado deste tema, pois como gostaria de estudar no exterior acredito que esse é um ponto relevante a conhecer.

Indivíduo E (T1)

Com certeza!

Ao final do semestre todos os alunos, incluindo aqueles na categoria T3, atenderam aos requisitos exigidos para aprovação plena na disciplina de PA-II obtendo conceitos variados. Os conceitos atribuídos aos alunos da categoria T3 podem ser vistos abaixo:

Tabela 4: Conceitos da disciplina atribuídos aos alunos T3

Indivíduo A	Indivíduo B	Indivíduo C	Indivíduo D
B	A	C	B

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Tabela 5: Conceitos da disciplina atribuídos aos alunos T1

Indivíduo E	Indivíduo F	Indivíduo G	Indivíduo H	Indivíduo I
A	A	B	C	C
Indivíduo J	Indivíduo K	Indivíduo L	Indivíduo M	Indivíduo N
B	B	B	B	B

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Pudemos constatar que a abordagem proposta não gerou prejuízos para os alunos e obteve êxito em seus objetivos, uma vez que propiciou um ambiente de exploração formal, mais livre, sem se distanciar das responsabilidades técnicas e construtivas inerentes ao desenvolvimento de um projeto de arquitetura. Assim sendo, os alunos da categoria T3 foram capazes de alcançar resultados satisfatórios mesmo tendo trabalhado com complicações projetuais adicionais, como a complexidade formal de seus projetos, a utilização de uma abordagem completamente inovadora e o aprendizado de uma nova ferramenta projetual.

4.2 PROBLEMAS

Apesar de vislumbrar as possibilidades positivas que a abordagem paramétrica pode apresentar para o desenvolvimento de projeto, foi praticamente unânime a dificuldade em trabalhar com o *software* algorítmico/paramétrico. Alguns alegaram o fato de o programa ser pouco intuitivo, enquanto outros afirmaram que o conhecimento anterior, de outros *softwares*, não os ajudou a compreender a linguagem do programa, ao contrário do que acontece com *softwares* como *Sketchup* e *Archicad*, por exemplo, como se constata na resposta a seguir:

Houve alguma dificuldade na utilização dos softwares paramétricos? Se sim, quais?

Indivíduo D (T3)

Diferente dos softwares que usamos (*Autocad*, *Archicad*), o grasshopper não é intuitivo e é necessário o desenvolvimento de outra forma de pensamento, ligada à programação

Indivíduo H (T1)

Sim. Meus conhecimentos prévios não eram suficientes para que eu pudesse usar de forma mais controlada e "calma" o programa. Acredito que, infelizmente, não praticamos o suficiente ao longo do semestre (principalmente pela falta de uma sala com computadores para DA-3), o que prejudicou, de certa forma, os alunos de P2 que estavam tentando usar a ferramenta.

Indivíduo F (T1)

Sim. É uma forma de utilização e desenvolvimento totalmente diferente de todas as que eu já estava habituado.

Nesse aspecto, de modo geral a proposta da disciplina de DA-III não surtiu o efeito esperado. Não serviu para estimular os alunos a utilizar a ferramenta apresentada e tampouco conseguiu transmitir conhecimento suficiente para que os alunos pudessem trabalhar com mais facilidade a plataforma paramétrica em seus projetos, sendo necessário um assessoramento constante e a produção de vídeos

tutoriais online complementares para que os alunos da categoria T3 conseguissem elaborar seus projetos utilizando a ferramenta computacional apresentada.

É pertinente frisar, entretanto, que a proposta apresentada aos alunos é extremamente inovadora, e que até o momento existe pouco material didático assim como publicações que reportem o uso da integração entre a plataforma paramétrica e BIM em universidades brasileiras. Entre os poucos trabalhos encontrados nesta pesquisa merecem ser citados aqueles referentes a integração entre a plataforma algorítmica e BIM (FEIST, 2016; WAHBEH, 2017) assim como os que discutem a inserção destes novos conteúdos digitais no currículo acadêmico nos cursos de arquitetura (ROMCY, 2017). Por isso, a contribuição dessa dissertação foi a utilização destes conteúdos digitais de modo integrado dentro de sala de aula como estratégia de raciocínio projetual. Com isso buscou-se fornecer uma base teórico-experimental para futuras experiências que tenham como objetivo introduzir estas abordagens pedagógicas de modo estruturado no currículo das universidades brasileiras.

O uso do *plug-in GALC* mostrou-se muito versátil para a modelagem da composição estrutural entre os alunos da categoria T3. Contudo, este experimento revelou alguns problemas na transmissão de dados entre os programas. Entre eles alguns foram mais recorrentes no decorrer do semestre e foram responsáveis por um retrabalho que seria desnecessário caso a conexão entre os *softwares* funcionasse corretamente, são eles:

- **Bugs de Alinhamento:** foi possível notar no decorrer do semestre um erro recorrente no alinhamento entre os perfis e as linhas guias. Mesmo sendo representado corretamente no *Rhinoceros 5*, quando a modelagem era reproduzida no *Archicad* o alinhamento de algumas peças mudava sem explicação ou motivo aparente, mesmo que estivesse seguindo o mesmo raciocínio algorítmico de outras peças. Este erro fazia com que os alunos tivessem que reposicionar alguns perfis dentro do *Archicad*, prejudicando o fluxo de trabalho desejável para a integração entre os softwares;
- **Superfícies complexas pela ferramenta *Shell Ruled*:** Para um dos alunos T3 foi necessário o uso da ferramenta *Shell Ruled*, disponível no

plug-in de integração GALC, que tem a função de gerar superfícies não coplanares e permite o uso de superfícies compostas do *Archicad*. Contudo, houve problemas para gerar uma superfície relativamente simples, porque as linhas guias a serem utilizadas não eram paralelas, possuindo diferenças de rotação nos eixos X, Y e Z. Por isso, foi necessário trabalhar com diversas camadas da ferramenta *morph* para gerar a superfície composta e substituir a ferramenta *shell ruled*.

- **Ausência de manipulação direta:** Os alunos da categoria T3 sentiram falta da possibilidade de manipular certos objetos diretamente, ou mesmo que fosse mais fácil coordenar as modificações em peças isoladas. Como a abordagem algorítmica centrou-se no sistema, por vezes tornou-se complicado quando se desejava trabalhar um componente da modelagem em caráter de exceção. É importante ressaltar, no entanto, que não se trata necessariamente de um problema na transmissão de dados entre os *softwares*, e sim um problema para o fluxo de trabalho, o que exige um planejamento prévio bastante refinado para lidar com tais situações.
- **Fluxo de trabalho unidirecional:** Similar ao problema relatado anteriormente, os alunos da categoria T3 sentiram falta de um fluxo de trabalho bidirecional, ou seja, um fluxo de trabalho que transmitisse os dados do *Grasshopper* para o *Archicad*, mas que também permitisse que as alterações geradas no *Archicad* fossem, de algum modo, transmitidas ou traduzidas para o algoritmo do *Grasshopper*. Se fluxo de trabalho fosse bidirecional, o problema anteriormente relatado poderia ser resolvido uma vez que permitiria a manipulação direta de geometrias no modelo.
- **Portas e janelas:** Todos os alunos da categoria T3 preferiram modelar suas esquadrias na plataforma BIM. Como a maioria deles projetou paredes curvas ou superfícies não-coplanares, os ajustes para posicionar as portas e janelas na edificação foram considerados demasiadamente complexos para serem realizados no *Grasshopper*.
- **Atualização do modelo:** Em alguns momentos do processo projetual, o modelo representado no *Archicad*, de origem algorítmica, parava de

responder às alterações realizadas no *Grasshopper*, sendo necessário apagar todo o modelo e refazer a conexão entre os softwares para que a modelagem reaparecesse com as mudanças realizadas.

- **Alto consumo do Hardware:** Os alunos que utilizaram o GALC por vezes tiveram dificuldade de trabalhar seus modelos virtuais devido ao alto consumo de memória e de placa gráfica que os três *softwares* exigiam. Mesmo em computadores de alto desempenho, em determinados momentos foi necessário trabalhar com alguns componentes de modo isolado para poupar memória e agilizar o processo de trabalho.

Estes problemas foram relatados por três alunos da categoria T3 no decorrer da entrevista, como pode ser visto abaixo:

Você conseguiu integrar o uso da plataforma BIM com softwares paramétricos? Se sim, o que achou desta integração? Ela efetivamente auxiliou seu processo de projeto e representação? Comente.

Indivíduo B (T3)

Tendo em vista que a utilização da plataforma BIM ainda não é um fato em comum a todos os estudantes que participaram da cadeira de projeto - e eu me incluo neste meio - acredito que sem os assessoramentos e auxílios dados em aula por professores e colegas eu teria muitas dificuldades para conseguir fazer a interação com os programas paramétricos. A minha impressão sobre a integração dos softwares é de que é extremamente desafiante fazer com que a interoperabilidade funcione 100%, porém sem ela seria impossível executar o projeto.

Indivíduo D (T3)

Sim, a integração ainda tem alguns problemas, mas ajudou no processo de criação.

Indivíduo C (T3)

Sim. Montar o esquema estrutural no *Grasshopper* e conectar com o *Archicad* me possibilitou não ter que construir peça por peça, porém tive que ajustar todas elas igualmente, pois a conexão entre os dois programas ainda tem problemas.

Os problemas relatados pelos alunos apontam para a dificuldade de se trabalhar com situações específicas de projeto utilizando o raciocínio algorítmico. Quando se trata de descrever sistemas, a abordagem proposta revela-se bastante vantajosa. Porém, quando se trata de lidar com as especificidades de cada projeto, foi

constatado a complexidade em descrever estas situações de modo algorítmico e também de manter a variabilidade formal dos partidos arquitetônicos. Por vezes, quando tentou-se descrever estas particularidades no algoritmo eles não resistiam à variação da forma inicial, gerando um colapso parcial do sistema.

Como mencionado por Feist (2016), não são todas as situações em que o uso da abordagem A-BIM mostra-se pertinente. Nas situações projetuais que exijam a execução de tarefas repetitivas, ou se almeje a variabilidade ou a complexidade formal, esta abordagem mostra-se bastante eficiente.

Certamente seria possível gerar um algoritmo capaz de lidar com tais particularidades, contudo, quanto maior a quantidade de individualidades no sistema, maior seria a complexidade em lidar com o algoritmo. Assim, preferiu-se por motivos práticos descrever algorítmicamente as edificações até a etapa de modelagem que antecede as fenestraçãoes e demais minúcias e detalhes da edificação, deixando estas últimas etapas para serem trabalhadas diretamente na plataforma BIM.

Outro problema apontado foi a falta de infraestrutura adequada para as aulas de DA-III. Nas entrevistas alguns dos alunos mencionaram esta carência como um dos principais entraves para o aprendizado mais efetivo ao longo do semestre, como pode ser visto a seguir:

Na sua opinião, a disciplina de DA-III auxiliou no entendimento do software de modelagem algorítmica para sua utilização na disciplina de PA-II? Se não, por que?

Indivíduo D (T3)

Como já citado, houve diversos motivos para eu acreditar que a cadeira de DA3 não funcionou, mas nenhum desses fatos inclui procurar ensinar algo complexo demais aos alunos ou por causa do modo como as explicações do professor eram repassadas. Novamente cito a falta de infraestrutura e logística como responsáveis pelo não aproveitamento da cadeira.

Indivíduo I (T1)

Não muito. Era, infelizmente, difícil de acompanhar as aulas de DA3, especialmente se a pessoa estivesse sem um notebook. Meu computador mais potente, na época, era de mesa, então eu não conseguia leva-lo para as aulas na faculdade. Como falei antes, teria aproveitado mais se a sala de DA contasse com computadores, assim todos os alunos poderiam acompanhar igualmente as aulas.

Apesar dos problemas relatados, ressalta-se o pioneirismo da intervenção proposta levando a disciplina de DA-III a dedicar-se inteiramente à apresentação, e instrumentalização dos alunos, de um *software* de programação visual voltado para o emprego de lógicas algorítmicas de projeto. A falta de infraestrutura infelizmente é uma realidade para muitas universidades públicas no Brasil afora. Todavia, a investigação científica, assim como a exploração de novas estratégias de ensino, não deve ser impedida por estes obstáculos.

O fato de a pesquisa ser realizada, apesar dos obstáculos, revela a versatilidade da proposta, sendo possível testá-la, assim como ampliar sua investigação em outras instituições de ensino que tenham interesse neste campo de pesquisa, mesmo que não disponham dos recursos mais adequados para tal. Assim sendo, a difusão do conhecimento torna-se mais democrática e acessível a todos aqueles que a buscam.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo investigar se a integração entre plataforma BIM e softwares algorítmicos/paramétricos constitui-se em um ambiente favorável para estimular o raciocínio criativo assim como facilitar a representação gráfica de formas complexas concebidas no ambiente digital paramétrico. Para isso, foi necessário fornecer subsídios em duas frentes distintas. Apresentar as ferramentas para capacitar os alunos a idealizar estas formas mantendo uma coesão entre o partido arquitetônico e os conceitos produzidos na disciplina de PA-II. E, posteriormente, utilizar um sistema de integração entre a plataforma paramétrica e a plataforma BIM para garantir a transmissão de dados entre elas, proporcionando, dessa maneira, uma maior facilidade para a representação gráfica técnica dos projetos.

5.1 ABRANGÊNCIA DA PROPOSTA

A abordagem projetual proposta nesta dissertação mostrou-se versátil e pode ser utilizada não somente com formas complexas, mas também com formas prismáticas e convencionais. Contudo, conforme Feist (2016), a abordagem direta em BIM mostra-se mais vantajosa quando não se preocupa com a variabilidade ou complexidade formal além de lidar mais facilmente com pequenas mudanças e minúcias do partido arquitetônico. Em outras palavras, a proposta apresentada por esta pesquisa é mais vantajosa quando utilizada em uma abordagem didática que tenha o foco voltado ao processo e à exploração projetual.

O sistema construtivo de *woodframe*, antes considerado restritivo por alguns dos alunos, revelou-se uma grande vantagem, uma vez que ofereceu um vocabulário construtivo versátil para as explorações formais empregadas. Por se tratar de uma técnica construtiva regrada e modulada, apresentou certa afinidade com a lógica algorítmica. Assim, uma vez compreendido o raciocínio estrutural, bastou descrevê-la em termos algorítmicos para que fosse possível obter formas variáveis dentro de um sistema estrutural responsivo.

É importante salientar que a metodologia de aula teve como pano de fundo o sistema construtivo *woodframe*, porém sua aplicabilidade poderia ser estendida a outros sistemas construtivos, como *steel frame*, concreto armado, *wall system*, entre outros. Bastaria que a lógica construtiva fosse descrita em termos algorítmicos. Assim, é possível estabelecer um novo domínio sobre as técnicas construtivas, abrindo caminho para a exploração formal e conceitual de cada uma dessas técnicas.

Conforme constatado, o raciocínio de projeto empregado de modo algorítmico permite uma compreensão mais abrangente do processo projetual. Ou seja, é necessário alcançar um grau de maturidade profissional para descrever o problema projetual dentro de uma lógica algorítmica que permita a antecipação de diversos entraves projetuais, e assim elaborar um sistema que possibilite a variação e a evolução do partido arquitetônico.

5.2 INSTRUMENTALIZAÇÃO EM DA-III

Quanto à instrumentalização dos alunos em softwares paramétricos, percebeu-se que a estratégia proposta para o semestre de 2017/2 poderia ter ocorrido de modo diverso. Focar-se em uma edificação de pequeno porte durante todo o semestre revelou-se pouco instigante e monótono para os alunos, que acabaram perdendo o entusiasmo e engajamento quanto à novidade do conteúdo apresentado. Neste sentido, seriam necessárias novas investigações que levassem em conta os conhecimentos técnico/construtivos dos alunos para verificar qual o nível de complexidade formal arquitetônica seria mais conveniente nesta etapa da formação profissional.

Esta pesquisa promoveu uma instrumentalização em *softwares* de modelagem algorítmica concomitantemente com a aplicação destes conhecimentos em uma disciplina de projeto, o que revelou aspectos positivos, como a aplicação imediata dos conhecimentos adquiridos a situações de projeto, além de propiciar uma continuidade e imersão nos conceitos apresentados na disciplina de DA-III. Contudo, esta proposta atendeu a apenas uma pequena parte dos alunos que cursaram a disciplina de DA-III e participaram da categoria T3 na disciplina de PA-II. Por isso, não foi possível estender estes benefícios aos demais alunos.

Nota-se também que não houve tempo hábil para uma absorção completa da instrumentalização promovida por DA-III. Os alunos que não tiveram a oportunidade de utilizar os conteúdos apresentados pela disciplina em situações práticas de projeto não obtiveram o mesmo índice de aprendizado que os demais colegas.

Dessa forma, para futuras tentativas de instrumentalizar os alunos em *softwares* de modelagem algorítmica, sugere-se trabalhar com exercícios menores que busquem referências em edificações conhecidas, passíveis de empregar conceitos do design paramétrico em sua descrição volumétrica, como os exemplos apresentados na pesquisa de Polonini (2014). Assim, seria possível conectar mais rapidamente o conteúdo instrumental apresentado com a aplicação prática em arquitetura, favorecendo o aprendizado do aluno e dando mais autonomia para a disciplina instrumental. Ademais, sugere-se que estas instrumentalizações sejam promovidas com turmas menores, no máximo 15 alunos, para que seja possível realizar um acompanhamento mais próximo das dificuldades de cada indivíduo, dada a complexidade do conteúdo.

Para incorporar adequadamente este novo paradigma projetual nas universidades, recomenda-se que seja dedicado mais tempo à instrumentalização do *software*, com pelo menos dois semestres dedicados a isso, e também disponibilizar meios alternativos para apresentar os conteúdos relacionados, como *workshops* e disciplinas optativas que possuam temas relacionados com esta área. Além disso, é pertinente que haja pelo menos uma disciplina de projeto que tenha a abordagem projetual voltada para a lógica algorítmica, situada em etapas mais avançadas do curso.

5.3 PERÍODO DE TRANSIÇÃO

A introdução de um conteúdo tão inovador e complexo como a lógica projetual algorítmica em ambiente digital deve ser promovida em etapas, com uma adaptação cuidadosa do projeto pedagógico da instituição de ensino para subsidiar um ambiente favorável à aprendizagem. Assim, as cadeiras destinadas à instrumentalização dos alunos devem estar em sintonia com as necessidades das disciplinas de projeto, ao

passo que os professores de projeto devem apresentar abertura para promover as propostas que trabalhem com a lógica projetual algorítmica.

Assim como a introdução da computação gráfica nos cursos de arquitetura ocorreu de modo gradual, sugere-se que haja um período de transição para que os temas relacionados à lógica algorítmica projetual sejam inseridos no plano pedagógico do curso de arquitetura de modo estruturado, possibilitando que haja um amadurecimento deste conteúdo assim como tempo hábil para que a universidade possa se adaptar a esta nova realidade e proporcionar aos alunos estes novos domínios de conhecimento.

No decorrer das aulas, foi imprescindível fornecer assessoramento constante, presencial e *online*, aos alunos da categoria T3 para que eles fossem capazes de criar seus algoritmos de projeto. Para este período de transição, seria recomendável treinar alunos monitores ou estagiários docentes, de modo a capacitá-los nestes *softwares* que utilizam a programação visual para modelagem, permitindo um acompanhamento dos alunos de modo individual, dentro e fora das salas de aula.

Outras universidades de renome ao redor do mundo já possuem a abordagem digital paramétrica consolidada em sua grade curricular há alguns anos. Logo, é importante que essa transição ocorra também no Brasil e as universidades consigam se estabelecer neste campo de pesquisa e de produção arquitetônica.

5.4 A INTEGRAÇÃO ENTRE *SOFTWARES* PARAMÉTRICOS E BIM

O sistema de integração entre a plataforma de raciocínio algorítmico digital e a BIM se revelou bastante útil por unir as melhores características de dois mundos projetuais distintos. Contudo, percebeu-se que o fluxo de trabalho e a transmissão de dados entre os *softwares* ainda apresenta problemas de ordem técnica. Espera-se que as novas versões do GALC para integrar *Archicad 22* e *Grasshopper* tenham seus “*bugs*” corrigidos e o desempenho gráfico melhorado.

Ademais constatou-se que a integração proporciona um ambiente propício para a exploração formal, ao eliminar a barreira que outrora existia entre a elaboração de formas complexas e sua representação gráfica e técnica. A capacidade de

transmissão simultânea de dados, assim como a opção de atribuir características construtivas às geometrias geradas no *Grasshopper*, facilita o fluxo de trabalho dos alunos, pois conecta as etapas de projeto que antes aconteciam em momentos distintos do processo. Portanto, conclui-se que a integração teve um caráter positivo na experiência de aprendizado dos alunos, possibilitando que eles consigam desenvolver uma visão global dos processos que envolvem a elaboração de um projeto de arquitetura, além de possibilitar uma diminuição no tempo empregado em realizar tarefas repetitivas, deixando mais espaço para o aprimoramento do raciocínio e da exploração projetual.

5.5 DESIGN GENERATIVO, DESIGN PARAMÉTRICO E BIM

Seria interessante, para investigações futuras, manter a presença do design generativo na abordagem A-BIM, isto é, utilizar um sistema generativo para exploração formal do partido arquitetônico que se mantenha conectado algoritmicamente durante todo o processo projetual, permitindo uma área de exploração formal mais abrangente e inovadora e relacionando as três abordagens projetuais trabalhadas na pesquisa: o design paramétrico, o design generativo e a plataforma BIM.

Uma das contribuições desta dissertação foi apresentar aos alunos de modo didático estes três mundos projetuais, estimulando a exploração e tornando acessível novos domínios de conhecimento. De acordo com as entrevistas, a proposta serviu para estimular a curiosidade dos alunos, para eliminar barreiras e preconceitos e, de certa forma, desmistificar a complexidade acerca deste conteúdo.

Esta dissertação, portanto, abre novos caminhos e possibilidades para estudantes, assim como para a estrutura pedagógica das instituições de ensino interessadas em promover os domínios de conhecimento aqui discutidos. Espera-se que este trabalho sirva para auxiliar, tanto no âmbito acadêmico quanto no profissional, os indivíduos engajados em aprender novas maneiras de pensar e produzir arquitetura.

5.6 POSSÍVEIS DESDOBRAMENTOS

A dissertação apresentou um plano de trabalho que aprimorou, de modo inovador, o processo projetual com formas complexas usando os *softwares* de programação visual para modelagem integrados à plataforma BIM. A estratégia de ensino empregada, uma vez aprofundada e melhor estruturada, pode se desdobrar em uma metodologia de ensino que seja replicável em outras universidades com o objetivo de servir de base metodológica para a introdução de conceitos oriundos da lógica algorítmica aplicados a projetos de arquitetura.

Além disso, os algoritmos elaborados poderiam evoluir para um sistema mais autônomo que permita a exploração formal ainda mais livre, ao mesmo tempo em que adaptasse automaticamente o sistema estrutural em *woodframe* às formas complexas geradas por estas investigações. Seria possível apresentar estas plataformas digitais nas etapas iniciais do curso de arquitetura, proporcionando um aprendizado gradativo em *softwares* paramétricos.

A dissertação aponta para um processo projetual que se afasta do paradigma convencional, uma vez que apresenta um fluxo de trabalho mais contínuo, desde a etapa de ideação até a etapa de detalhamento técnico, possível de ser realizado em um único mundo projetual, isto é, o digital. Dessa forma, minimiza as etapas segregadas e desvinculadas do processo projetual, como croqui analógico, modelagem volumétrica e representação gráfica em plataformas CAD ou BIM. Esta proposta posiciona-se em uma direção divergente ao fluxo de trabalho antigamente empregado no desenvolvimento de projetos de arquitetura, exclusivamente analógico, e se aproxima de uma abordagem projetual que poderia ser caracterizada pelo fluxo de trabalho contínuo e inteiramente digital.

REFERÊNCIAS

AKIN, Ö. How do architects design? *In*: LATOMBE, J.-C. (Ed.). . **Artificial intelligence and pattern recognition in computer-aided design**. New York, NY: Elsevier Science Ltd, 1978. p. 65–98.

ALLOUCHE, J.-P.; COURBAGE, M.; SKORDEV, G. Notes on Cellular Automata. **Cubo Matemática Educacional**, v. 3, p. 213–244, 2001.

ANDRADE, M. L. V. X. **COMPUTAÇÃO GRÁFICA TRIDIMENSIONAL E ENSINO DE ARQUITETURA: UMA EXPERIÊNCIA PEDAGÓGICA** *Graphica* 2007. **Anais...**Curitiba, Brasil: 2007

AURENHAMMER, F. Voronoi Diagrams — A Survey of a Fundamental Data Structure. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, v. 23, n. 3, p. 345–405, 1991.

BARISON, M. B.; SANTOS, E. T. **REVIEW AND ANALYSIS OF CURRENT STRATEGIES FOR PLANNING A BIM** INTERNATIONAL CONFERENCE ON APLPLICATIONS OF IT IN THE AEC INDUSTRY& ACCELERATING BIM RESEARCH WORKSHOP, 27. **Anais...**Cairo, Egito: 2010

BATLLE, A. O. **O papel do desenho na formação e no exercício profissional do arquiteto – conceitos e experiências**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2011.

BENJAMIN, D. Beyond Efficiency. *In*: MARBLE, S. (Ed.). . **Digital Workflows in Architecture - Design - Assembly - Industry**. Basel: Birkhäuser, 2012. p. 14–27.

BERGIN, M. S. **A Brief History of BIM**. Disponível em: <<http://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>>. Acesso em: 5 jun. 2017.

BERNSTEIN, P. **Make your own rules with generative architecture**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/redshift/make-your-own-rules-with-generative-architecture/>>. Acesso em: 13 ago. 2016.

BESANT, C. B.; LUI, C. W. K. **Computer-Aided Design and Manufacture**. 3ª ed. Chicheste, United Kingdom: Ellis Horwood Limited Chichester, 1986.

BLUNT, A. **Teoria Artistica na Italia 1450-1600**. São Paulo: Cosac & Naify, 2001.

BONO, E. DE. **Six Thinking Hats**. [s.l.] Granica, 1985.

BRANDÃO, C. A. L. Linguagem e arquitetura: o problema do conceito. **Interpretar**

Arquitetura, v. 1, n. 1, p. 1–8, 2001.

BROADBENT, G. **Design in architecture: architecture and the human sciences**. London: Wiley, 1973.

CAIXETA, L. M. **O COMPUTADOR COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO AO PROCESSO PROJETUAL DA ARQUITETURA - O PROCESSO DE APRENDIZAGEM E O ATUAL USO DAS FERRAMENTAS DIGITAIS PELOS ARQUITETOS**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2007.

CANEPARO, L. **Digital Fabrication in Architecture, Engineering and Construction**. London: Springer, 2014.

CARPO, M. **The Alphabet and the algorithm**. London, England: MIT Press, 2011.

CARRANZA, P. M.; COATES, P. S. Swarm modelling. The use of Swarm Intelligence to generate architectural form. **3rd International Conference on Generative Art**, p. 1–16, 2000.

CASAKIN, H. **The Role of Analogy and Visual Displays in Architectural Design**. [s.l.] Technion- Israel Institute of Technology, 1997.

CATTANI, A. ARQUITETURA E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA: considerações históricas e aspectos práticos. **Arquitexto**, n. 9, p. 110–123, 2006.

_____. SOBRE O DESENHO. **Arquitexto**, n. 19, p. 5–37, 2017.

CELANI, G. **Beyond analysis and representation in CAD: a new computational approach to design education**. [s.l.] MIT, 2002.

CELANI, G.; VAZ, C.; PUPO, R. SISTEMAS GENERATIVOS DE PROJETO: CLASSIFICAÇÃO E REFLEXÃO SOB O PONTO DE VISTA DA REPRESENTAÇÃO E DOS MEIOS DE PRODUÇÃO. **Revista Brasileira de Expressão Gráfica**, v. 1, p. 22–39, 2013.

CHING, F. D. K. **Técnicas de construção ilustradas**. [s.l.] Bookman Editora, 2016.

CHING, F. D. K.; JARZOMBEEK, M.; PRAKASH, V. **A GLOBAL HISTORY OF Architecture**. 2ª ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2011.

COLIN, S. **Uma introdução à arquitetura**. Rio de Janeiro: UAPÊ, 2000.

DENNING, S. **The Springboard: How Storytelling Ignites Action in Knowledge-Era**

Organizations. New York, NY: Routledge, 2001.

DINO, Í. G. CREATIVE DESIGN EXPLORATION BY PARAMETRIC GENERATIVE SYSTEMS IN ARCHITECTURE. **METU Journal of Faculty of Architecture**, v. 29, n. 1, p. 207–224, 2012.

DO, E. Y.; GROSS, M. D. Thinking with Diagrams in Architectural Design. **Artificial Intelligence Review**, v. 15, n. 1–2, p. 135–149, 2001.

DOLLENS, D. **De lo digital a lo analógico.** Barcelona, Espanha: Gustavo Gili, 2002.

DURAND, J. N. L. **Précis des leçons d'architecture données à l'École Royale Polytechnique. Vol. 1.** [s.l.] chez L'auteur... ea, 1819.

EAMES, C. **Design Q&A. Questions by Mme. L. Amic & Answers by Charles Eames.** *The Films of Charles & Ray Eames*, 1989.

EASTMAN, C. New Directions in Design Cognition: Studies of Representation and Recall. *In: Design knowing and learning: cognition in design education.* Oxford: Elsevier, 2001. p. 1–314.

EASTMAN, C. M. **Cognitive processes and ill-defined problems: A case study from design.** Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence: IJCAI. **Anais...**1969

_____. **WHY ARE WE HERE AND WHERE WE ARE GOING : THE EVOLUTION OF CADACADIA.** **Anais...**Florida: 1989

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors.** New Jersey: John Wiley & Sons Ltd, 2008.

FARIN, G. A History of Curves and Surfaces in CAGD. *In: FARIN, G. E.; HOSCHEK, J.; KIM, M.-S. (Eds.). . Handbook of computer aided geometric design.* 1ª ed. [s.l.] Elsevier, 2002. p. 1–13.

FEIST, S. T. V. **A-BIM : Algorithmic-based Building Information Modelling.** [s.l.] Técnico de Lisboa, 2016.

FIAMMA, P. Architettura... dalla progettazione generativa. **Disegnarecon**, p. 52–61, 2011.

FISCHER, T.; CHRISTIANE, H. M. **Teaching Generative Design** Proceedings of the

4th Conference on Generative Art. **Anais...2001**

FLORIO, W. **Notas sobre pensamento e cognição em projetos paramétricos** ENANPARQ. **Anais...**Natal, Brasil: 2012

FREITAS, M. R. DE; RUSCHEL, R. C. Aplicação de realidade virtual e aumentada em arquitetura Application of virtual and augmented reality in architecture. **arquiteturarevista**, v. 6, n. 2, p. 127–135, 2010.

FURNHAM, A. The Brainstorming Myth. **Business Strategy Review**, v. 11, n. 4, p. 21–28, 2000.

GARCÍA, L. M. Understanding design thinking, exploration and exploitation. **IDBM papers**, v. 2, p. 151–161, 2012.

GARNER, S.; MCDONAGH-PHILP, D. Problem Interpretation and Resolution via Visual Stimuli: The Use of “Mood Boards” in Design Education. **Journal of art e design education**, v. 20, n. 1, p. 57–64, 2001.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. 1ª edição ed. [s.l.] Editora UFRGS, 2009.

GERO, J. S. **Design Computing and Cognition´12**. 1ª ed. Fairfax: Springer, 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª edição ed. São Paulo, SP: Editora Atlas, 2002.

GOLDSCHMIDT, G. The dialectics of sketching. **Creativity research journal**, v. 4, n. 2, p. 123–143, 1991.

GU, N.; SINGH, V.; MERRICK, K. **A framework to integrate generative design techniques for enhancing design automation** CAADRIA. **Anais...**Hong Kong: 2010

JUNG, R. L. DA C. **A ARQUITETURA E AS FERRAMENTAS DIGITAIS : UMA VISÃO DO PROJETO ARQUITETÔNICO**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

KNIGHT, T. Shape grammars in education and practice: history and prospects. **International Journal of Design**, v. 2, n. 67, 2000.

KOLAREVIC, B. Digital Morphogenesis and Computational Architectures. **SIGRADIS - Constructing the digital space**, p. 1–6, 2000.

KOLAREVIC, B. *et al.* **Architecture in the digital age - Design and manufacturing**. New York, NY: Spon Press, 2003.

KOSHINEN, I.; ZIMMERMAN, J.; BINDER, T.; REDSTRÖM, J.; WENSVEEN, S. **Design Research Through Practice: From the Lab, Field and Showroom**. [s.l.] Elsevier, 2011.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; BIANCHI, G.; PETRECHE, J. R. D. A criatividade no processo de projeto. *In*: KOWALTOWSKI, D. C. C. K. (Ed.). . **O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia**. São Paulo, SP: Oficina de textos, 2011. .

LAWSON, B. **Como arquitetos e designers pensam**. Tradução: ed. São Paulo, Brasil: Oficina de textos, 2011.

LEITÃO, A.; CABECINHAS, F.; MARTINS, S. **Revisiting the Architecture Curriculum The programming perspective**eCAADe 28. **Anais...2010**

LEITÃO, A.; SANTOS, L. **Programming Languages for Generative design** (T. S. Zupancic, M. Juvancic, S. Verovsek, & A. Jutraz, Eds.)eCAADe 29. **Anais...Ljubljana, Slovenia: 2011**

LLOYD, P.; SCOTT, P. Difference in similarity: interpreting the architectural design process. **Environment and Planning B**, v. 22, n. 4, p. 383–406, 1995.

MANSSOUR, I. H.; COHEN, M. **Introdução à Computação Gráfica**SIBGRAPI. **Anais...2007**

MCDONAGH, D.; DENTON, H. Exploring the degree to which individual students share a common perception of specific mood boards: Observations relating to teaching, learning and team-based design. **Design Studies**, v. 26, n. 1, p. 35–53, 2004.

MICHAELIS, D. **Michaelis**. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/busca?id=kLj23>>. Acesso em: 7 fev. 2017.

MITCHELL, W. J. The theoretical foundation of computer-aided architectural design. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 2, n. 2, p. 127–150, 1975.

MITCHELL, W. J. **FROM SKETCHPAD TO CITY OF BITS**Caadria. **Anais...Kumamoto: 2006**

MITCHELL, W. J. **A Lógica da Arquitetura. Projeto, Computação e Cognição**.

Campinas: Editora Unicamp, 2008.

MONEDERO, J. Parametric design: A review and some experiences. **Automation in Construction**, v. 9, n. 4, p. 369–377, 2000.

NATIVIDADE, V. G. **Fraturas metodológicas nas arquiteturas digitais**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2010.

NATIVIDADE, V.; VENTURA, A. **Arquitetura Algorítmica. Uma abordagem conceitual**SIGRADI. **Anais...**São Paulo: 2009

NORBERG-SCHULZ, C. **Intentions in Architecture**. 1ª edição ed. Cambridge, EUA: [s.n.].

NUNAN, D. **Research Methods in Language Learning**. 1ª Edição ed. New York, NY: Cambridge University Press, 1992.

OKABE, A.; BOOTS, B.; SUGIHARA, K.; CHIU, S. N. **Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams**. [s.l.] John Wiley & Sons Ltd, 2009.

ORCIUOLI, A. **SIGradi São Paulo 2009. Quebrando tabus**.

OXMAN, R. The thinking eye: Visual re-cognition in design emergence. **Design Studies**, v. 23, n. 2, p. 135–164, 2002.

_____. Theory and design in the first digital age. **Design Studies**, v. 27, p. 229–265, 2006.

_____. Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. **Design Studies**, v. 29, n. 2, p. 99–120, 2008.

_____. Digital design didactics - Re-thinking theory methodology and pedagogy. *In*: STEINO, N.; ÖZKAR, M. (Eds.). . **Shaping design teaching - Explorations into the teaching of form**. 1ª ed. Aalborg: Aalborg University Press, 2012. p. 1–224.

OXMAN, R.; OXMAN, R. **Theories of the Digital In Architecture**. 1ª ed. New York, NY: Routledge, 2014.

PALLADIO, A. **The four books on architecture**. [s.l.] MIT Press, 2002.

PEREIRA, J. R. A. **Introducción a la historia de la arquitectura : de los orígenes al siglo XXI**. Ed. corr. ed. Barcelona, Espanha: Editorial Reverté, 2009.

PIEGL, L. On NURBS : A Survey. n. January, 1991.

POLONINI, F. B. DA S. **A Modelagem Paramétrica na concepção de formas curvilíneas da Arquitetura Contemporânea.** [s.l.] Universidade Federal da Bahia, 2014.

PONZIO, A. P.; MACHADO, A. S. O uso de métodos criativos visando a inovação no ensino de projeto arquitetônico. **InSitu–Revista Científica do Programa de Mestrado Profissional em Projeto, Produção e Gestão do Espaço Urbano**, v. 1, n. 2, p. 109–130, 2015.

PONZIO, A. P.; PIARDI, S. **Uso de técnicas de Design Thinking no ensino de arquitetura**VII PROJETAR. **Anais...Natal**: 2015

PONZIO, A. P.; PIARDI, S. O uso de técnicas de Design Thinking no Ensino de Arquitetura. *In: Bloco(13): o ensino e a prática de projeto.* Novo Hamburgo - RS: Editora Feevale, 2017. p. 152–171.

PRATT, K. B.; JONES, N. L.; SCHUMANN, L.; BOSWORTH, D. E.; HEUMANN, A. D. Automated Translation of Architectural Models for Energy Simulation. **Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design**, p. 65–72, 2012.

PRUSINKIEWICZ, P. A look at the visual modeling of plants using L-systems. **Agronomie**, v. 19, n. 3–4, p. 211–224, 1999.

RAZZOUK, R.; SHUTE, V. What Is Design Thinking and Why Is It Important? **Review of Educational Research**, v. 82, n. 3, p. 330–348, 2012.

REQUICHA, A. A. G.; VOELCKER, H. B. Solid Modeling: A Historical Summary and Contemporary Assessment. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 2, n. 2, p. 9–24, 1982.

ROCHA, I. A. M. **PROGRAMA E PROJETO NA ERA DIGITAL O Ensino de Projeto de Arquitetura em Ambientes Virtuais Interativos.** [s.l.] UFRGS, 2009.

ROMCY, N. M. S. **Abordagem paramétrica e ensino de projeto - proposição de diretrizes metodológicas, considerando estratégias curriculares e o atelier de projeto.** [s.l.] UFRN, 2017.

RUSCHEL, R. C.; ANDRADE, M. L. V. X.; MORAIS, M. DE. O ensino de BIM no Brasil: onde estamos? **Ambiente Construído**, v. 13, n. 2, p. 151–165, 2013.

SCHÖN, D. A. The Reflective Practitioner. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, p. 160, 1983.

SCHÖN, D. A. Designing as reflective conversation with the materials of a design situation. **5(1)**, p. 3–14, 1992.

SCHÖN, D. A. **Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem** Porto Alegre ArtMed, , 2000.

STEINO, N. Form First! *In*: STEINO, N.; ÖZKAR, M. (Eds.). . **Shaping design teaching - Explorations into the teaching of form**. 1ª ed. Aalborg: Aalborg University Press, 2012. p. 147–166.

STINY, G. Kindergarten grammars: designing with Froebel's building gifts. **Environment and Planning B**, v. 7, n. 4, p. 409–462, 1980.

STINY, G.; MITCHELL, W. J. The grammar of paradise: on the generation of Mughul gardens. **Environment and Planning B**, v. 7, n. 2, p. 209–226, 1980.

STRINGER, E. T. **Action Research**. 3ª Edição ed. [s.l.] Sage Publications, 2007.

SULLIVAN, L. The tall office building artistically considered. **Lippincott's Magazine**, 1896.

TEDESCHI, A.; WIRZ, F.; ANDREANI, S. **AAD, Algorithms-aided design : parametric strategies using Grasshopper**. 1ª ed. Brienza: [s.n.].

TERZIDIS, K. Algorithmic Design : A Paradigm Shift in Architecture ? p. 201–207, 2004.

____. **Algorithmic Architecture**. 1ª ed. Oxford: [s.n.].

THALLON, R. **Graphic Guide to Frame Construction**. 3ª ed. Newtown: Tauton Press, 2008.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e Pesquisa**, v. 31, n. 3, p. 443–466, 2005.

TSCHUMI, B. **Architecture and disjunction**. Cambridge: The MIT Press, 1996.

VELOSO, P. L. A.; SCHEEREN, R.; VASCONCELOS, T. O Ensino de Projeto e o Processo de Design Paramétrico. *In*: **Bloco(13)**. Novo Hamburgo - RS: Editora Feevale, 2017. p. 88–107.

VETTORETTI, A. C. **Bancos para ler e conversar: parâmetros de projeto para sistema de design generativo.** [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

WAHBEH, W. Building skins , parametric design tools and BIM platforms. **Virtual Design and Construction, University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland FHNW**, n. October, 2017.

WEISBERG, D. E. **The Engineering Design Revolution - The People, Companies and Computer Systems that Changed Forever the Practice of Engineering.** Englewood - CO: [s.n.].

WILLS, J. E. B. **Uso de tecnologias digitais nas etapas iniciais de projeto arquitetônico.** [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

WOODBURY, R. F. **Elements of Parametric Design.** [s.l: s.n.].

APÊNDICE A

 
QUESTIONÁRIO GUIA PARA ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADA
Nome do participante:
Idade:
Semestre do curso:
Instituição do curso:
Data da entrevista:
Observação:

1 – Dentro da sua avaliação, como foi a experiência de trabalhar com o *software* paramétrico *Rhinoceros 5 + Grasshopper*, positiva ou negativa? Por que?

2 – Houve contribuição do *software* paramétrico nas suas primeiras etapas da concepção formal da unidade habitacional? Comente.

3 – Houve alguma dificuldade na utilização dos *softwares* de modelagem algorítmica? Se sim, quais?

4 – Em qual mídia você se sente mais à vontade para criar e manipular os partidos arquitetônicos que desenvolve? na mídia analógica que utiliza desenhos a mão e maquetes físicas, na mídia digital a que utiliza *softwares* de modelagem ou em ambos? Por quê?

5 – Na sua avaliação, qual foi a importância da abordagem paramétrica na concepção do seu projeto? Por quê?

6 – Na sua opinião, quais as potencialidades da abordagem paramétrica em projetos de arquitetura?

7 – Você crê que atingiu alguma das potencialidades citadas anteriormente? Se sim quais? Se não, qual foi o impedimento?

8 – Pretende utilizar o raciocínio projetual paramétrico em projetos futuros?

9 – Você acredita que teria alcançado o resultado formal que obteve ao final da disciplina em outra plataforma ou mídia? Se sim, qual?

10 – Você conseguiu integrar o uso da plataforma BIM com *softwares* de modelagem algorítmica? Se sim, o que achou desta integração? Ela efetivamente auxiliou seu processo de projeto? Comente.

11 – Na sua opinião, a disciplina de DA-III auxiliou no entendimento do *software* de modelagem algorítmica para sua utilização na disciplina de projeto? Se não, por quê?

12 – Após a experiência deste semestre, você acredita ter aprendido a base de conhecimentos necessária para continuar a aprendizagem dos *softwares Rhinoceros 5, Grasshopper e Archicad*?

13 – Como você avalia a disciplina de DA-III em sua integração com PA-II.

14 – Que recursos de representação foram empregados na sua apresentação final? Quais *softwares*, instrumentos ou ferramentas você utilizou?

15 – Você gostaria de finalizar com alguma sugestão ou comentário em relação a PA-II ou DA-III?

APÊNDICE B

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

PESQUISA: OS CAMINHOS DO PROJETO NA PLATAFORMA DIGITAL: UMA INVESTIGAÇÃO PEDAGÓGICA DO PROCESSO PROJETUAL NO AMBIENTE PARAMÉTRICO.

COORDENAÇÃO: Prof. Airton Cattani

1. NATUREZA DA PESQUISA: Você está sendo convidado a participar desta pesquisa exploratória que tem como finalidade investigar qual a base teórica, instrumental e projetual necessária para amparar o desenvolvimento de um atelier de projeto com ênfase em explorações formais no ambiente digital

2. PARTICIPANTES DA PESQUISA: Participarão desta pesquisa estudantes do 4º semestre da faculdade de arquitetura e urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul matriculados simultaneamente em Desenho Arquitetônico III e Projeto Arquitetônico II.

3. ENVOLVIMENTO NA PESQUISA: Ao participar deste estudo você participará de uma entrevista sobre o tema da pesquisa. É previsto em torno de uma hora para a realização da entrevista. Você tem a liberdade de se recusar a participar da mesma bem como a responder quaisquer uma das questões que forem realizadas, tendo a liberdade de desistir de participar em qualquer momento que decida sem qualquer prejuízo.

Este estudo conta também com registro fotográfico dos trabalhos desenvolvidos pelos entrevistados no decorrer da disciplina de Desenho Arquitetônico III e Projeto Arquitetônico II. Os registros serão utilizados única e exclusivamente com intuito de pesquisa com foco analítico, não qualitativo e sem a identificação do indivíduo responsável para garantir o anonimato do entrevistado

4. RISCOS E DESCONFORTO: a participação nesta pesquisa não traz complicações legais de nenhuma ordem e os procedimentos utilizados obedecem aos critérios da ética na Pesquisa com Seres Humanos conforme a Resolução nº 510/16 do Conselho Nacional de saúde.

Os riscos da pesquisa podem incluir desconforto e tensões com a metodologia proposta, o que deverá ser mitigado com o esclarecimento sobre a possibilidade de não participar do experimento proposto seguindo a metodologia convencional da disciplina, sem maiores danos ou prejuízos ao aluno.

Podem haver incômodos como privação do sono por parte do aluno, em decorrência do experimento ocorrer em uma disciplina de Projeto Arquitetônico que possui alto índice desse tipo de desconforto

devido à alta demanda e carga horária da disciplina. A privação do sono pode ocorrer na tentativa de cumprir as metas estabelecidas pela disciplina de Projeto Arquitetônico II o que deverá ser prevenido com um cronograma de exercícios factível com a sua carga horária, além de orientações e assessoramentos fora do horário de aula se necessário, com objetivo de auxiliar o aluno a lidar com os novos domínios de conhecimento com o qual terá contato durante o experimento.

Pode haver frustração psicológica caso o aluno não consiga cumprir as metas da disciplina ou na possibilidade de o experimento apresentar dificuldade exacerbada para o aluno, neste caso o aluno tem a liberdade de sair do experimento com objetivo de eliminar ou minimizar prejuízos no desenvolvimento do seu aprendizado na disciplina.

Todo e qualquer outro risco que possa vir a ocorrer deverá ser minimizado ou eliminado pelo pesquisador, mesmo que isso resulte no encerramento da pesquisa.

É importante ressaltar que não há pesquisas sem riscos, contudo os procedimentos utilizados procurarão minimizar qualquer risco que possa vir a acontecer.

5. CONFIDENCIALIDADE: Todas as informações coletadas nesta investigação são estritamente confidenciais. Acima de tudo interessam os dados coletivos e não aspectos particulares de cada indivíduo.

6. BENEFÍCIOS: Ao participar desta pesquisa, o(a) Sr.(a). não terão nenhum benefício direto imediato. Entretanto, espera-se que futuramente os resultados deste estudo sejam usados em benefício do estado da arte da pesquisa relacionada ao Design e que sua empresa possa usufruir desses benefícios.

7. PAGAMENTO: Você não terá nenhum tipo de despesa por participar deste estudo, bem como não receberá nenhum tipo de pagamento por sua participação.

8. ARMAZENAGEM DE DADOS: Todas as gravações, fotos ou documentos resultantes da pesquisa serão guardados pelo período de cinco anos.

Após estes esclarecimentos, solicitamos o seu consentimento de forma livre para que o Sr.(a) participe desta pesquisa. Solicito também autorização para realizar gravação de áudio da sua entrevista. Os arquivos de áudio são confidenciais e serão usados por mim, Leonardo Prazeres Veloso de Souza, para análise conjunta dos dados e lhe asseguro que esses arquivos de áudio não serão publicados. Informo também que seu nome não será divulgado nos resultados desta pesquisa.

Para tanto, preencha os itens que se seguem:

1. Se autorizar a gravação de áudio, deixe desmarcado a opção abaixo.
() Não autorizo a gravação de áudio da entrevista.

2. Tendo em vista os itens acima apresentados, eu, de forma livre e esclarecida, informo que posso participar desta pesquisa.

Nome do (a) participante	
Assinatura do(a) participante	
Data e local	

Contato do Pesquisador
e-mail: leoprazeres13@gmail.com
cel: +55 51 9.8357.5528

Comitê de Ética em Pesquisa – Pró-Reitoria de Pesquisa - UFRGS			
Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - 2º andar do Prédio da Reitoria - Campus Centro			
Bairro: Farroupilha	CEP: 90.040-060	UF: RS	Município: Porto Alegre
Telefone: (51)3308-3738	Fax: (51)3308-4085	E-mail: etica@propesq.ufrgs.br	

ANEXO A

Cronograma DA-III – 2017/1

2017 / 1		DAIII	DESENHO ARQUITETÔNICO III			CRONOGRAMA
AULA		CONTEÚDOS	ATMIDADE	MATERIAL	LOCAL	OBSERVAÇÕES
1	29.03	APRESENTAÇÃO DA DISCIPLINA FORMAÇÃO DOS GRUPOS	Teórica		sala 501	
ANÁLISE: FOTOGRAFIA						
2	05.04	EXERCÍCIO 1: FOTOGRAFIA E ANÁLISE ESPACIAL	Saída de campo	câmera fotográfica	sala 501	
3	12.04	Aula Teórica Collage Seleção de imagens em grupo	Prática em grupo	4 imagens por aluno	área de estudo	tomada de imagens cada aluno seleciona 10 imagens
4	19.04	execução da collage apresentação e definição do objeto	Prática em grupo	imagens selecionadas caderno de anotações	sala 501	Desenvolvimento do projeto
5	26.04	Apresentação Colagem Apresentação Exercício	Aula Teórica	Notebook imagens selecionadas caderno de anotações	sala 501 sala 502	Desenvolvimento do projeto
6	03.05	Introdução Archicad - Grasshopper	Aula Teórica	Imagens em arquivo digital projeto impresso	sala 501 sala 502	Avaliação em grupo e
OBJETO: PROTÓTIPO						
7	10.05	Exercício Casa Poli	Aula Prática	Notebook caderno de anotações	sala 501	Leia
8	17.05	Photoshop / Illustrator	Aula Prática	Notebook caderno de anotações	área de estudo	Léia e Leonardo
9	24.05	Grasshopper + Archicad Objeto	Aula Prática	Notebook caderno de anotações	sala 501 sala 502	Léia e Leonardo
10	31.05	Manipulação	Aula Prática	Notebook caderno de anotações	sala 501 sala 502	Léia e Leonardo
11	07.06	Bim X Introdução Montagens	Aula Prática	Visita no laboratório	sala 501 LIFE	
12	14.06	Entrega Montagem	Apresentação		sala 501 sala 502	
13	21.06	Fabricação Digital	Aula Teórica		sala 501 sala Laboratori	
14	28/jun	Objeto Cubo máximo 30x30x30	Aula Prática		sala 501 sala Laboratori	
15	05/jul	ENTREGA 2 Corte	PAINEL	maquetes/protótipo câmera fotográfica	área de estudo	
APRESENTAÇÃO DO PROCESSO						
16	12/jul	Desenho	Aula Prática	projeto impresso protótipo caderno de anotações	sala 501	
17	19/jul	Desenho	Aula Prática	caderno de anotações	sala 501 sala 502	
18	26/jul	Montagem Entrega Final	Aula Prática	caderno de anotações Notebook	**	
19	#####	ENTREGA FINAL				

Fonte: Angélica Paiva Ponzio e Underléia Bruscatto

Cronograma DA-III – 2017/2

2017 / 2		DAIII	DESENHO ARQUITETÔNICO III			CRONOGRAMA	
AULA		CONTEÚDOS	ATIVIDADE	MATERIAL	LOCAL	OBSERVAÇÕES	
1	30.08	INTRODUÇÃO AO CONCEITO DE ARQUITETURA ALGORÍTMICA	Teórica		sala 501		
GRASSHOPPER							
2	06.09	INTRODUÇÃO AO GRASSHOPPER – PARTE 01	Teórica	Notebook caderno de anotações	sala 501		
3	13.09	INTRODUÇÃO AO GRASSHOPPER – PARTE 02	Teórica	Notebook caderno de anotações	sala 501		
4	20.09	FERIADO					
5	27.09	PERFIL PARAMÉTRICO	Aula Prática	Notebook caderno de anotações	sala 501	Desenvolver o perfil da edificação parametricamente	
6	04.10	OPERAÇÕES FORMAIS	Aula Prática	Notebook caderno de anotações	sala 502	Loft e Simmetry	
PRÉ-FABRICAÇÃO DIGITAL							
7	11.10	CORTE A LASER/ PARTE 01	Aula Prática	Visita no laboratorio	sala 501 LIFE	Leia	
8	18.10	SEMANA ACADÊMICA					
9	25.10	CORTE A LASER/ PARTE 02	Aula Prática	Visita no laboratorio	sala 501 LIFE	Leia	
GRASSHOPPER							
10	01.11	FATIAMENTO DO VOLUME / SENTIDO Y	Aula Prática	Notebook caderno de anotações	sala 501		
11	08.11	FATIAMENTO DO VOLUME / SENTIDO X	Aula Prática	Notebook caderno de anotações	sala 501		
PROVA							
12	22.11	PROVA	Aula Prática	Notebook caderno de anotações	sala 501	Em grupo	
13	29.11	CORREÇÃO DA PROVA	Aula Prática	Notebook caderno de anotações	sala 501		
ESTRUTURA EM WOODFRAME							
14	06.12	ATRIBUIÇÃO DE PERFIS ÀS LINHAS GUIAS/ PARTE 01	Aula Prática	Notebook caderno de anotações	sala 501		
15	13.12	ATRIBUIÇÃO DE PERFIS ÀS LINHAS GUIAS/ PARTE 02	Aula Prática	Notebook caderno de anotações	sala 501		
INTEGRAÇÃO COM ARCHICAD							
16	20.12	INTEGRAÇÃO COM ARCHICAD	Aula Prática	Notebook caderno de anotações	sala 501		
17	03.01	BIMX + PAINEL	Aula Prática	Notebook caderno de anotações	sala 501		
18	17.01	AULA EAD					
19	24.01	ENTREGA FINAL PAINEL					

ANEXO B

Cronograma PA-II – 2017/1

Mês	Dia	Objetivos	Atividades	Procedimentos	Materiais
Março	27/03	Apresentação do Semestre	1.Plano de Trabalho, Procedimentos de aula, cronograma	Apresentação Semestre	
			2. Apresentação dos alunos, expectativas do semestre; grupo facebook	Apresentação alunos	
			3. Material para pma aula		
Março	29/03	Exercício Casa na Árvore - Aproximação ao Problema	1. Apresentação e Enunciado do exercício ;	Aula Expositiva	Data Show
	31/03		2. Início do exercício	Trabalho em aula - croquis; painel	papel e lápis
Abril	3/04	Painel - Exercício Lúdico	5. Painel de Apresentação	Crítica coletiva	Croquis e Maquetes
	05/04	Introdução ao Tema Ambiental: o Sítio	1. Apresentação Terreno ; trilhas propostas; grupos alunos/hotel (1aluno/trilha;	Aula Expositiva; Profa Angelica; Prof. Mario Reiss	Data show
	07/04		2. Preparação para a visita e elementos de análise (filme;desenhos)		
	10/04		3. Introducao a tecnicas de mapeamento/VANT		
	12/04	Reconhecimento do Sítio	4. Visita ao local; trilhas; picnic	Caminhadas + PicNic	Bloco, máquina fotos, ténis
	14/04	Análise Sítio	5. Trabalho em aula - grupos alunos	Trabalho em Aula - grupos	
	17/04	Apresentação da Análise do Sítio	6. Painel de Apresentação: identif. alinhamentos, visuais, etc.	Crítica coletiva	Filme; fotos; Pdf/datashow
	21/04	Análise Tipologias	1. Aula Hotel Design; Construcao cenarios; economia experiencia	Aula Expositiva	
	24/04	Feriado			
	26/04	Painel Tipologias	5. Painel de Apresentação	Painel grupos	MM, GP, Moodboard; Chapeus
	28/04	Conceito Hotel	1. Conceito/Processo; hotel design - Introducao	Aula Expositiva	Data Show
	01/05	Feriado	2. Desenvolvimento em aula Mapa Mental e GP; fazer Chapeu + moodboard	Trabalho em Aula - grupos	2 Folhas A2; canetas coloridas;
	03/05	Implantação	1. Aula desenho Espaço aberto; malhas; maquete 1:500	Aula Expositiva	Data Show
	05/05		2. Desenvolvimento em Aula; maquete corte laser		Implantacao e maquete 1:500
	08/05	Implantação	3. Painel Implantacao	Crítica coletiva	PB/legenda/especf, croquis, maquete
10/05	4. Desenvolvimento em Aula - maquete - caminhosem escala				
12/05	5. Acertos implantacao/atividades		Trabalho em Aula - grupos		
15/05	Implantação	6. Desenvolvimento em Aula			
17/05		7. Painel Implantacao	Crítica coletiva	PB/legenda/especf, croquis, maquete	
19/05	Unidades	1. Aula Analogias/conceito/geração da forma - unidades			
22/05	Unidades	2. Painel Moodboard Unidades e esquema formal/volumetrico	Crítica coletiva	croquis e maquete	
24/05		3. Aula Teorica- Geracao Forma/modulos	Aula Expositiva	/modulo/Volumetria/casca	
26/05		4. Desenvolvimento em Aula	Exercicio em aula		
29/05	Unidades	5. Painel Unidades - Formal	Crítica coletiva	croquis; maquete	
31/05		6. Aula Teorica - programa	Assessoramento	volumetria e construçao espacial	
02/06		7. Desenvolvimento em Aula	Exercicio em aula - maquetes mobiliario		
05/06	Unidades	8. Painel Unidades	Crítica Coletiva	PB, Corte, Maquete	
07/06	Sistemas construtivos Unidades	1. Sistema woodframe/madeira	Aula Expositiva	Data Show	
09/06		2. Desenvolvimento em Aula - planejamento estrutura/maquete	Exercicio em aula		
12/06	Sistema Construtivo Unidades	3. Desenvolvimento em Aula - planejamento estrutura/maquete	Exercicio em aula		
14/06		4. Painel Estrutura com dimensoes	Painel (AF)	Maquete e PB; dim comp	
16/06		5. Aula Teorica - woodframe - aberturas x estrutura x cobertura	Aula Expositiva		
19/06	Sistemas construtivos Unidades	6. Desenvolvimento em Aula	Assessoramento		
21/06		7. Painel Componentes Sistema / coberturas		Axo; pb/elevacoes; dimens	
23/06		8. Revisão dimensionamentos/coberturas	Assessoramento		
26/06	Sistema Construtivo Unidades	9. Elementos de fechamento interno/externo;	Aula Expositiva	Camadas	
29/06		10. Painel Componentes Sistema		Painel Detalhes; cortes	
30/06		11. Aula sistemas complementares/AC/esquadrias/cobertura	Aula Expositiva	Gesso acartonado/OSB	
03/07	Sistema Construtivo + Detalhe	12. Desenvolvimento em Aula	Assessoramento		
5/7		13. Desenvolvimento em Aula	Assessoramento		
7/7		14. Desenvolvimento em Aula	Assessoramento		
10/7		Sistema Construtivo Unidades	15. Painel Detalhe e Revestimentos Externos	Painel Individual	Detalhe/Fach/Elevações
Julho	12/7	Ambientação	1. Instrução- Planilha Especificações		
	14/7		2. Visita Técnica		
	17/7	Ambientação	3. Painel Planilha Interiores e Pw/Cores Perspektvados	Painel Individual	
	19/7	Diagramação	Aula diagramação folder; plantas tecnicas; cortadora laser		
	21/7	Assessoramentos			
	24/7	Assessoramentos			
	26/7	Pré-Entrega			
	28/7	Assessoramentos			
Agosto	2/8	Assessoramentos			
	4/8	Entrega Final			

Fonte: Angélica Paiva Ponzio

Cronograma PA-II – 2017/1

Mês	Dia	Objetivos	Atividades	Procedimentos	Materiais	
Agosto	28/08	Apresentação do Semestre	1.Plano de Trabalho, Procedimentos de aula, cronograma	Apresentação Semestre		
			2. Apresentação dos alunos, expectativas do semestre; grupo facebook	Apresentação alunos		
			3. Material para pxma aula			
Setembro	30/08	Exercício Casa na Árvore - Aproximação ao Problema	1. Apresentação e Enunciado do exercício ;	Aula Expositiva	Data Show	
	01/09		2. Início do exercício	Trabalho em aula - croquis; painel	papel e lápis	
			3. Desenvolvimento do Exercício (esc. 1:50)	Trabalho em aula - maquete	material maquete	
	04/09	Painel - Exercício Lúdico	5. Painel de Apresentação	Crítica coletiva	Croquis e Maquetes	
	06/09	Análise Tipologias	1. Aula Hotel Design; Construcao cenarios; economia experiencia	Aula Expositiva		
	08/09		2. Pesquisa Tipologias	EAD		
	11/09	Painel Tipologias	3. Painel de Apresentação	Painel grupos	MM, GP, Moodboard; Chapus	
	13/09	Introdução ao Tema Ambiental: o Sítio	1. Apresentação Terreno ; trilhas propostas; grupos alunos/hotel (1aluno)	Aula Expositiva; Profa Angelica;	Data show	
			2. Preparação para a visita e elementos de análise (filme;desenhos)			
	15/09	Conceito	1. Conceito/Processo; hotel design - Introducao	Trabalho em Aula - grupos	2 Folhas A2; canetas coloridas;	
	18/09	Conceito	2. Desenvolvimento em aula Mapa Mental e GP; fazer Chapeu + moodboard			
	20/09	Feriado	4. Painel Mapa Mental; GP; Moodboard	Crítica coletiva	Chapeus; moodboard, MM;GP	
	22/09	Reconhecimento do Sítio	3. Visita ao local; trilhas; picnic	Caminhadas + PicNic	Bloco, máquina fotos, ténis	
	25/09	Análise do Sítio	4.Trabalho em aula - mapa mental e ppainel de analise	Trabalho em aula - croquis; painel	Folha A1, canetas, fotos, etc.	
	27/09		Acessoramento + Aula Leonardo de espaço aberto	Aula Expositiva	datashow	
29/09	Implantação + Análise do sítio	5. Painel de Apresentação; identif. alinhamentos, visuais, etc.	Crítica Coletiva	Filme; fotos; Pdf/datashow		
Outubro	02/10	Implantação	1. Aula desenho Espaço aberto; malhas; maquete 1:500		PB/legenda/especf, croquis, maquete	
	04/10		2. Painel Implantacao	Crítica coletiva	PB/legenda/especf, croquis, maquete	
	06/10		3. Acessoramento			
	09/10	Implantação	4. Desenvolvimento em Aula; maquete corte laser		Implantacao e maquete 1:500	
	11/10		5. Painel Implantacao	Crítica coletiva	PB/legenda/especf, croquis, maquete	
	13/10		6. Acertos implantacao/atividades	Trabalho em Aula - grupos		
	16/10	Semana Academica				
	18/10					
	20/10					
	23/10	Implantação	8. Painel Implantacao	Crítica coletiva	PB/legenda/especf, croquis, maquete	
	25/10	Unidades	1. Aula Teorica - Decomposição da forma síntese	Aula Expositiva	/moduloVolumetria/casca	
27/10	2. Aula Teórica - Operações compositivas + Exercício Padrões 2D		Exercício em aula			
30/10	3. Assessoramento Exercício Padrões 2D		Crítica coletiva	croquis; maquete		
Novembro	01/11	Unidades	4. Exercícios emergência da forma 3D	Assessoramento	volumetria e distribuicao espacial	
	03/11		5. Aula Teórica - Programa Unidade Habitacional + Assessoramento	Exercício em aula - maquetes mobiliario		
	06/11	Unidades	6. Painel Unidades	Crítica Coletiva	PB, Corte, Maquete	
	08/11	Unidades	7. Assessoramento Unidades e transcrição da forma para o virtual	Aula Expositiva	Data Show	
	10/11		8. Assessoramento Unidades e transcrição da forma para o virtual	Exercício em aula		
	13/11	Unidades	9. Painel Unidades	Painel (AF)	Maquete e PB; dim comp	
	15/11	Feriado				
	17/11	Sistemas construtivos Unidades	1. Aula Teorica - woodframe - aberturas x estrutura x cobertura	Aula Expositiva		
	20/11	Sistemas construtivos Unidades	2. Desenvolvimento em Aula	Assessoramento		
	22/11		3. Painel Componentes Sistema / coberturas		Axo; pb/elevacoes; dimens	
24/11	4. Revisão dimensionamentos/coberturas		Assessoramento			
27/11	Sistema Construtivo Unidades	5. Elementos de fechamento interno/externo;	Aula Expositiva	Camadas		
29/11		6. Painel Componentes Sistema		Painel Detalhes; cortes		
01/12		7. Aula sistemas complementares/AC/esquadrias/cobertura	Aula Expositiva	Gesso acartonado/OSB		
Dezembro	04/12	Sistema Construtivo + Detalhe	8. Desenvolvimento em Aula	Assessoramento		
	06/12		9. Desenvolvimento em Aula	Assessoramento		
	08/12		10. Desenvolvimento em Aula	Assessoramento		
	11/12		11. Painel Detalhe e Revestimentos Externos	Painel Individual	Detalhe/Fach/Elevações	
	13/12	Ambientação	1. Instrução- Planilha Especificações			
	15/12		2. Visita Tecnica			
	18/12	Ambientação	3. Painel Planilha Interiores e Pb/Cores Perspectvados	Painel Individual		
	20/12	Diagramação	Aula diagramação folder; plantas tecnicas; cortadora laser			
22/12	Assessoramentos					
Janeiro	12/1	Pré-Entrega				
	15/1	Assessoramentos				
	17/01	Assessoramentos				
	19/01	Assessoramentos				
	22/01	Entrega Final				

Fonte: Angélica Paiva Ponzio

GLOSSÁRIO DE TERMOS

A-BIM – Acrônimo para “*Algorithmic-Based Building Information Modelling*” proposto por Feist (2016) para designar a integração entre o design algorítmico e a plataforma BIM.

AEC – Acrônimo para “*Architecture Engineering and Construction*”, refere-se a tudo aquilo que é voltado para a área da construção civil.

AR – Acrônimo para “*Augmented Reality*”. De acordo com Freitas e Ruschel (2010), trata-se de uma tecnologia que permite uma percepção aumentada do mundo real. Este resultado é obtido com a sobreposição de elementos virtuais ao mundo real com o auxílio dispositivos digitais(FREITAS e RUSCHEL, 2010).

BIM – Acrônimo para “*Building Information Modeling*”, trata-se de uma plataforma de modelagem que concentra todos os dados construtivos assim como desenhos técnicos de um determinado projeto a partir de um único modelo virtual.

BREP – Acrônimo para “*Boundary Representations*”, um sistema de modelagem que baseia a composição das geometrias a partir de suas superfícies limitantes.

B-SPLINES – Acrônimo para “*Basis Spline*”, na matemática trata-se de uma função que estabelece o mínimo suporte possível para grau de suavidade de uma curva em um determinado domínio. Curvas B-splines são, portanto, definidas como uma combinação linear de pontos de controle para a criação de curvas suaves.

CAD – Acrônimo para “*Computer Aided Design*” ou desenho assistido por computador. Comumente atribuído para denominar softwares utilizados para desenhar, projetar ou modelar algo no ambiente virtual.

CAGD – Acrônimo para “*Computer Aided Geometric Design*”, usado para definir o desenho ou modelagem de geometrias com o auxílio do computador.

CLUSTER – De acordo com Leitão e Santos (2011), trata-se de um recurso presente no software *Grasshopper* que permite ao usuário encapsular diversos componentes e procedimentos incluindo até mesmo outros *clusters* de modo a formar um componente apenas, deixando externos apenas os *inputs* e *outputs* necessários para que o procedimento encapsulado aconteça.

CSG – Acrônimo para “*Construtive Solid Geometry*”, utilizado para designar uma

técnica de modelagem de sólidos que utiliza como princípio a ideia de que um objeto físico pode ser dividido em seus componentes geométricos primitivos. Uma vez que estas formas primitivas sejam combinadas com a utilização de operações booleanas são capazes de gerar o próprio objeto, sendo possível com estas operações alcançar certa complexidade topológica.

GALC – Acrônimo para *Grasshopper Archicad Live Connection*, utilizado nesta pesquisa para designar o *plug-in* de integração entre o software de programação visual *Grasshopper* e o *software* de plataforma BIM *Archicad*.

INPUT – Para esta dissertação utilizamos o termo para denominar toda e qualquer entrada de dados em um determinado componente no software *Grasshopper*.

LOFT – Superfície formada pela interpolação entre duas ou mais curvas distintas.

MÁQUINAS NC – Máquinas de controle numérico (“Numeric Control”) são aquelas que têm suas ações controladas por linguagem de programação. Antigamente estas instruções eram passadas à máquina com o uso de fitas de papel perfurado que transmitiam os códigos para a linguagem da máquina de modo mecânico. Com o surgimento do computador e da computação gráfica, a transmissão de dados tornou-se digital.

MESH – Termo utilizado designar modelagem baseada em malhas tridimensionais constituídas de faces. Trata-se de uma malha poligonal formada por faces conectadas entre si.

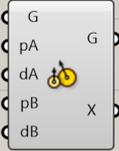
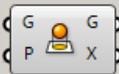
MORPH – Trata-se de uma versão deformada de uma determinada malha poligonal. Assim sendo, costuma estar presente em técnicas para deformação da forma.

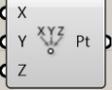
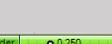
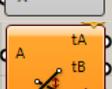
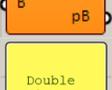
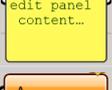
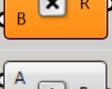
NURBS – Acrônimo para “*Non Uniform Rational Basis Spline*”, trata-se de um modelo matemático utilizado para definir superfícies paramétricas construídas com base em B-splines. As NURBS são frequentemente usadas em softwares gráficos para representar curvas e superfícies que possuam formas complexas. Em outras palavras, permite a deformação de superfícies comuns ou a criação de superfícies complexas com o uso de pontos de controle.

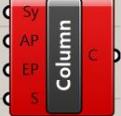
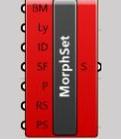
OUTPUT – Para esta pesquisa utilizamos o termo para denominar toda e qualquer saída de dados em um determinado componente no software *Grasshopper*.

VR – Acrônimo para “*Virtual Reality*”. De acordo com Freitas e Ruschel (2010), trata-se de uma tecnologia que possibilita ao indivíduo a capacidade de vivenciar mundos virtuais por meio de dispositivos que o fazem ter a percepção de vivenciar aquele ambiente, sendo portanto um meio fascinante de proporcionar uma interação de ambientes sintéticos com o computador.

GLOSSÁRIO DE COMPONENTES DO GRASSHOPPER

COMPONENTE	AÇÃO	ÍCONE
ORIENT DIRECTION	Orienta um objeto usando apenas restrições direcionais	
CONSTRUCT DOMAIN	Cria um domínio numérico entre dois extremos numéricos	
DIVIDE DOMAIN²	Divide um domínio bidimensional em segmentos iguais	
ISOTRIM	Extraí um subconjunto de superfícies isoparamétrico de uma superfície original	
DECONSTRUCT BREP	Desconstrói uma <i>Brep</i> em seus constituintes básicos, isto é, vértices, segmentos e faces	
PROJECT	Projeta um objeto em um plano	
PROJECT POINT	projeta um ponto em uma coleção de formas	
DELETE CONSECUTIVE	Deleta membros similares consecutivos em um conjunto	
EXPLODE CURVE	Explode uma curva em segmentos menores	
DIVIDE CURVE	Divide uma curve em segmentos de tamanhos iguais	
SWEEP1	Cria uma superfície contínua com apenas uma linha guia	
SCALE	Escalona um objeto uniformemente em todas as suas dimensões	
ORIENT	Orienta um objeto permitindo reposicionar uma geometria de um sistema de eixos para outro.	
LOFT	Cria uma superfície contínua a partir da interpolação entre duas curvas distintas	
EXTRUDE	Permite a extrusão de curvas e superfícies em um vetor determinado	
SOLID UNION	Permite a união de sólidos em um conjunto de <i>Breps</i>	

CAP HOLES	Fecha todos os buracos planares de um <i>Brep</i> criando uma superfície	
PERP FRAMES	Cria uma quantidade de quadros igualmente espaçados dispostos perpendicularmente ao longo de uma curva.	
CONSTRUCT POINT	Constrói um ponto nas coordenadas X, Y e Z	
UNIT X, Y E Z (VECTOR)	Cria um vetor paralelo aos eixos X, Y e Z	
POLYLINE	Cria uma "polyline" conectando um conjunto de pontos	
SDL LINE	Cria um segmento de linha definido por um ponto inicial, uma tangente e uma dimensão	
NUMBER SLIDER	Controles numéricos deslizantes para valores únicos	
END POINTS	Extrai os pontos iniciais e finais de uma curva	
MOVE	Move um objeto ao longo de um vetor	
ROTATE 3D	Rotaciona um objeto ao redor de um ponto central e de um eixo vetorial	
LINE / LINE (LLX)	Resolve eventos de intersecção entre duas linhas	
PANEL	Explicita os dados de saída (<i>output</i>) de qualquer componente)	
MULTIPLICATION	Realiza operações de multiplicação matemática	
ADDITION	Realiza operações de soma matemática	
SUBTRACTION	Realiza operações de subtração matemática	
DIVISION	Realiza operações de divisão matemática	
WALL	Cria uma parede do <i>Archicad</i> em uma linha de referência	
SLAB	Constrói uma laje baseada em seus parâmetros	

BEAM	Cria uma viga do <i>Archicad</i> definida por uma curva	
COLUMN	Cria uma coluna do <i>Archicad</i> definida pelos pontos finais de seu eixo	
MORPH SOLID	Cria um sólido <i>Morph</i> definido por uma determinada <i>Mesh</i>	
SHELL RULED	Cria uma Ruled Shell definida por duas curvas planares	
BEAM SETTINGS RECTANGULAR	Define configurações de uma viga retangular do <i>Archicad</i>	
SLAB SETTINGS COMPOSITE	Define configurações de uma laje composta do <i>Archicad</i>	
MORPH SETTINGS	Define configurações de <i>Morph</i> do <i>Archicad</i>	
COLUMN SETTINGS RECTANGULAR	Define configurações de um pilar retangular do <i>Archicad</i>	