

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo



Dissertação

DESENHO PARAMÉTRICO EM ESTÁGIOS INICIAIS DE
FORMAÇÃO EM ARQUITETURA: QUESTÕES
METODOLÓGICAS, CONCEITUAIS E TECNOLÓGICAS

Gustavo Alcantara Brod

Pelotas, 2014

GUSTAVO ALCANTARA BROD

DESENHO PARAMÉTRICO EM ESTÁGIOS INICIAIS DE FORMAÇÃO
EM ARQUITETURA

Questões metodológicas, conceituais e tecnológicas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Adriane Borda Almeida da Silva

Pelotas, 2014

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Neusa Rodrigues Félix
Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Eduardo Rocha
Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Carlos Eduardo Verzola Vaz
Universidade Federal de Pernambuco

À minha família

“Tecnologia é a resposta, mas qual foi a pergunta?”
Cedric Price

RESUMO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. 150 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O uso dos meios digitais, para a representação da forma, está estabelecido entre arquitetos e estudantes de arquitetura. No entanto, estas técnicas ainda são pouco exploradas no campo do ensino e aprendizagem de projeto de arquitetura, especialmente no que diz respeito à ação projetual na etapa de concepção. O rápido avanço tecnológico e crescentes pesquisas na área de gráfica digital têm disponibilizado ferramentas e técnicas de geração da forma que são apropriadas para esta etapa de criação. Tais procedimentos são baseados em processos de parametrização que tornam possíveis a produção e manipulação de soluções projetivas com diferentes níveis de complexidade. Sob esta perspectiva se estabeleceu o que vem sendo denominado como desenho paramétrico, caracterizando-se como um método de projeto, fundamentado em princípios de lógica e utilizando-se de técnicas de programação visual. Essas técnicas e os conhecimentos que elas envolvem ainda são pouco estudados e utilizados em escolas de arquitetura e urbanismo no Brasil. Com o objetivo de investigar as possibilidades de inserção dessas novas abordagens digitais ao projeto, esta pesquisa realiza um estudo com base na elaboração e análise de experimentos didáticos, focados na introdução do desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura. Para isso o trabalho buscou identificar os princípios e ideias fundamentais que envolvem a arquitetura digital e sob esse olhar realizou-se uma pesquisa das origens e da situação atual do envolvimento entre o processo de projeto e os meios informáticos. A partir da compreensão desse campo foi possível direcionar a pesquisa para questionamentos metodológicos, conceituais e tecnológicos que envolvem o ensino e aprendizado de processos digitais de projeto. Com base na pesquisa de referências teóricas e na investigação das práticas computacionais foram elaborados materiais e situações didáticas voltadas para a apresentação das técnicas de representação paramétrica direcionadas para a sala

de aula e para oficinas de extensão. Essas atividades estão centralizadas em conhecimentos de geometria como suporte para introdução e prática de habilidades de desenho paramétrico, tendo em vista que esses conhecimentos são ao mesmo tempo base na formação em arquitetura como fundamentais para lidar com a definição de parâmetros compositivos da forma. Os experimentos foram aplicados no contexto Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, em dois cenários; em um ambiente de sala de aula em que o foco ateu-se aos estudos da geometria e em oficina de extensão onde foi possível estender a atividade a uma situação de projeto. A avaliação dos experimentos com base em questionários e nos produtos das atividades permitiu observar a possibilidade de introduzir conhecimentos e habilidades de desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura. Permitiu observar a pertinência desta inserção especialmente junto às disciplinas que tratam de geometria e de técnicas de representação, na expectativa de gerar uma cultura de reconhecimento das potencialidades de emprego de conceitos de lógica e de procedimentos de parametrização, como construção de conhecimentos prévios para a ação projetual.

Palavras-chave: Desenho Paramétrico. Ensino e Aprendizagem. Geometria. Processo de Projeto. Arquitetura.

ABSTRACT

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. 150 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

The use of digital media for representation of form is already established among architects and students of architecture. However, the advantages brought by the use of these techniques in the teaching and learning of design disciplines are still very limited, especially in regards to the conceptual and schematic phase of the project. Technological advances and growing research in the field of digital graphics have presented new tools for the generation of form that are useful in this stage of the design creation. These procedures are based in processes of parameterization that allow for the production and manipulation of design solutions with different levels of complexity. Under this perspective it has been established what now is known as parametric design which is characterized by a design method based on principles of logic and which uses techniques of visual programming. These techniques and the areas of knowledge that it involves are still rarely studied and used in architecture and urbanism schools in Brazil. The aim of this research was to investigate the possibility of introducing these new digital approaches to design, based on the formulation and analysis of didactic experiments focused on the introduction to parametric design and directed at the initial stages of architecture education. This work sought to identify the principals and ideas that involve the field of digital architecture and under this light investigated the origins and the current situation of the relationship between the design processes and the information media. Following the comprehension of these conditions the research directed its attention towards the methodological, conceptual and technological aspects that are involved in the teaching and learning of digital design processes. Based on the study of theoretical references and the investigation digital techniques it was possible to formulate didactical exercises for introducing parametric representation in two distinct situations, a course discipline format and in a workshop format. These activities are centered in the study of geometry as a support for introducing and practicing

parametric design skills since this area of knowledge is elemental in architectural education as well as fundamental in the process of defining form parameters. The experiments were conducted at the School of Architecture and Urbanism of the Universidade Federal de Pelotas, in two scenarios; a classroom environment where the focus was concentrated in geometry studies and in extracurricular workshops in which it was possible to expand the activity and work with a design task. The evaluation of the experiments was based on the analysis of questionnaires and on the review of the exercise results. These assessments verified the possibilities of introducing to students in the initial stage of architectural education some of the knowledge and the skills that concern parametric design. Through this study it was possible to recognize the importance of introducing these digital approaches into a design curriculum especially in areas that deal with geometry and representation technique. It is expected that through these actions a new design culture can be inspired, one that recognizes the potentials brought by the use of concepts of logic and parametric procedures as well as the acquisition of elemental knowledge for the design process.

Keywords: Parametric Design. Teaching and Learning. Geometry. Design Process. Architecture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Croquis de Frank Gehry para o Museu Guggenheim de Bilbao.....	26
Figura 2: Cenas do filme Sketches of Frank Gehry.....	27
Figura 3: Museu Guggenheim Bilbao (1992-1997). Frank Gehry.....	28
Figura 4: Modelos físicos e digitais do Guggenheim Bilbao.	29
Figura 5: Précis des leçons d'architecture (1802-1805), J.N.L. Durand.	31
Figura 6: Vilas Palladianas.....	32
Figura 7: Alternativas produzidas por Mitchell (2008) para vilas palladianas de cinco por três cômodos com salões centrais.	32
Figura 8: Maquete de estudos de arcos de catenárias da igreja da Colonia Güell, Gaudí.	33
Figura 9: Sketchpad.	35
Figura 10: Relações entre projetista e produto. Abordagem tradicional e generativa ao projeto.	37
Figura 11: Ilustração de Fische e Herr (2001) ampliada com base nas considerações de Kolarevic (2005), que demonstram a produção sistemática soluções projetuais que são posteriormente selecionadas pelo projetista.....	38
Figura 12: Processo algorítmico para solução de problemas.....	41
Figura 13: Exemplo de uma operação de modelagem de um prisma através de linguagem de programação no programa AutoCAD.....	42
Figura 14: Representação esquemática da interação entre o projetista e o sistema generativo.....	46
Figura 15: Cobertura do pátio do British Museum, 2000, Foster + Partners.	50
Figura 16: Estação Hungerburg de trem Nordpark, 2007, Zaha Hadid Architects.....	52

Figura 17: Projeto Funicular Nordpark, 2007, Zaha Hadid Architects: estação Congress, estação Loewenhaus, ponte e estação Alpenzoo e estação Hungerburg.	52
Figura 18: Justas de poliuretano para quatro estações de trem Nordpark.	53
Figura 19: “Cubo d’Água”, Centro Aquático Nacional de Pequim, 2008, PTW Architects.	54
Figura 20: Estrutura das paredes e teto do Cubo d’Água.	55
Figura 21: Instalação do revestimento de ETFE.	55
Figura 22: Spline definida por pontos de controle.	57
Figura 23: Representação da interação geométrica entre duas curvas com dez instâncias intermediárias.	58
Figura 24: Modelo em escala de um terço para Embryological House, exposição na Bienal de Veneza, 2000, Greg Lynn.	59
Figura 25: Projeto das curvas spline primitivas para planos e seções da Embryological House, com a definição paramétrica dos pontos de controle.	60
Figura 26: Modelo de translação da primitiva com pontos de controle de deformação.	60
Figura 27: Maquetes de variações da Embryological House.	61
Figura 28: Disciplinas de 1º e 2º semestre da FAUrb / UFPel (2013)	72
Figura 29: Conteúdo da disciplina de GGDIII da FAUrb / UFPel. Fonte: < http://faurb.ufpel.edu.br/ >	73
Figura 30: Classificação das superfícies geométricas. Em destaque o Paraboloide hiperbólico e sua classificação.	75
Figura 31: Geração de um paraboloide hiperbólico.	75
Figura 32: Paraboloide hiperbólico, geratriz entre os pontos “P” e “Q”.	76

Figura 33: Paraboloide hiperbólico gerado a partir de dois sistemas de geratrizes configurando uma superfície duplamente regradada.	76
Figura 34: Parábolas nos planos que passam pelo eixo vertical.....	77
Figura 35: Obras de Félix Candela. Capela de Nossa Senhora da Soledade, Restaurante Manantiales, Capela de Palmira e Capela da Virgem da Medalha Milagrosa.....	77
Figura 36: Representação e manipulação da posição de um ponto.....	81
Figura 37: Representação dos pontos que darão origem aos vértices de um quadrado.	81
Figura 38: Representação do polígono que dará origem ao paraboloide hiperbólico.	82
Figura 39: Representação da superfície.	83
Figura 40: Configuração do paraboloide hiperbólico.	84
Figura 41: Alteração da forma do paraboloide hiperbólico.	84
Figura 42: Variações na configuração do paraboloide hiperbólico.	85
Figura 43: Definição final do paraboloide hiperbólico.....	85
Figura 45: Aplicação de espessura ao paraboloide hiperbólico.	86
Figura 46: Hypar Pavillion, no Lincoln Center - Nova Iorque, E.U.A., 2010 - Diller Scofidio + Renfro e FXFowle.....	87
Figura 47: Análise e definição da geoemtria do Hypar Pavillion.....	88
Figura 48: Obras para análise e modelagem: Lobby do Hotel Wikkikian, Igreja Luterana de Carlton Hills, Novo terminal Rodoviário de Brasília, Casa Catalano, Estação Ochota e Restaurante Ostseeperle.	88
Figura 49: Velódromo de Londres.	89
Figura 50: Geração da seção elíptica.....	90

Figura 51: Figura 55: Intersecção entre sólidos.	90
Figura 52: Visualização do parabolóide hiperbólico de seção elíptica.	91
Figura 53: Análise da edificação e exploração da forma.	92
Figura 54: Adição do componente de rotação à definição.	92
Figura 55: Definição da forma da cobertura do Velódromo através da análise de imagens do Velódromo e da atribuição de valores aos parâmetros específicos.	93
Figura 56: Definição final da cobertura do Velódromo.	93
Figura 57: Aeroporto Heydar Aliyev, Anfiteatro Coney Island e Seddledome.	94
Figura 58: Atividade piloto: geração do modelo do Velódromo e variações livre	95
Figura 59: Atividade com alunos de GGDIII.	96
Figura 60: Alunos realizando atividade 2.	97
Figura 61: Modelagem das obras arquitetônicas feita pelos alunos.	97
Figura 62: Alunos realizando atividade 3.	98
Figura 63: Modelagem parametrizada e imagens renderizadas e definição para registro da atividade.	98
Figura 64: Análise geométrica da obra, modelagem comparativa da seção elíptica do parabolóide e definição detalhando as ações de cada etapa trabalhada.	98
Figura 65: Maquetes do parabolóide hiperbólico realizadas com impressão 3d.	99
Figura 66: Maquetes do parabolóide hiperbólico realizadas com corte a laser.	99
Figura 67: Maquetes do Velódromo em impressão 3d estudada pelos alunos.	99
Figura 68: Construção do triângulo: ponto, linha e plano.	102
Figura 69: Variações do triângulo.	103
Figura 70: Extrusão do triângulo.	103
Figura 71: Revolução do triângulo.	104

Figura 72: Superfície de translação.....	104
Figura 73: Definição final dos três sólidos.....	105
Figura 74: Exemplos de variações dos sólidos.	105
Figura 75: Museu Oscar Niemeyer (MON) de Curitiba, (2002), Museu de Arte Contemporânea (MAC) de Niterói (1996) e Catedral de Brasília (1970).	106
Figura 76: Seções das obras para modelagem.....	106
Figura 77: Extrusão da seção.....	107
Figura 78: Revolução da seção.....	107
Figura 79: Superfície de translação da seção.	108
Figura 80: Manipulação de dados gráficos.....	109
Figura 81: Exercício de geração de padrões numéricos.	110
Figura 82: Maquete em costela do MAC.	111
Figura 83: Peças para construção de estrutura em costela do MAC.	111
Figura 84: Divulgação das oficinas de desenho paramétrico.	113
Figura 85: Oficina de Introdução ao desenho paramétrico oferecida pelo IV Workshop Alfa Gaviota, Abril, 2012. Ministrantes Gustavo Brod e Tássia Vasconcellos.	114
Figura 86: Variações geradas através da definição produzida pelo Grupo A.....	115
Figura 87: Modelo do Grupo 02.....	116
Figura 88: Variações geradas através da definição produzida pelo Grupo 02.....	116
Figura 89: Propostas de banquinho apresentadas pelos alunos.....	117
Figura 90: Modelo finalizado com definição de estrutura em costela e peças resultantes sem o recorte para encaixe produzido pelo Grupo C.....	117
Figura 91: Montagem de maquete em escala 1/10.	118
Figura 92: Peças para recorte na cortadora laser.	119

Figura 93: Protótipo do banquinho Gota.	119
Figura 94: Apresentação dos resultados da oficina.....	120
Figura 95: Caneca a partir de xícaras empilhadas.	121
Figura 96: Variações nos raios das xícaras.....	121
Figura 97: Croquis do projeto para um suporte de telefone celular.	122
Figura 98: Exploração da forma de um suporte para telefone a partir da variação dos parâmetros.	122
Figura 99: Exploração da forma de um suporte para telefone a partir da variação dos parâmetros.	123
Figura 100: Maquete em escala reduzida realizada com impressão 3D.	123
Figura 101: Atividade 01-A: GGDIII e Informática I, 2012/1. Semestre e nível de dificuldade.	127
Figura 102: Atividade GGDIII 2012/2: semestre e nível de dificuldade.	128
Figura 103: Nível de dificuldade em quatro aspectos estudados.	129
Figura 104: Áreas de conhecimentos mais relacionadas com a atividade	130
Figura 105: Níveis de dificuldade, satisfação e interesse.....	130
Figura 106: Dados fornecidos pelos questionários.....	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Situações de uso dos sistemas generativos.....	43
Tabela 2: Exemplos de sistemas generativos agrupados em duas categorias propostas por Kinght (2011).....	44
Tabela 3: Proposta de Celani, Vaz e Pupo para categorização dos sistemas generativos.....	44
Tabela 4: Artigos SigrDi 2012.....	68
Tabela 5: Dados e exercícios referentes à atividade 01.....	125
Tabela 6: Dados e exercícios referentes à atividade 02.....	131
Tabela 7: Conceitos ordenados por incidência com base nos questionários e variações de termos e expressões que os explicam.	134
Tabela 8: Conceitos trabalhados nas atividades.	137

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

Universidade Federal de Pelotas – UFPel

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAUrb

Geometria Gráfica Digital – GGD

Informática – Info

Grasshopper – GH

Generative Components – GC

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
1. Revisão bibliográfica	23
1.1. Arquitetura digital	23
1.1.1. Um caso emblemático: Museu Guggenheim Bilbao de Frank Gehry	24
1.2. Sistemas de projeto digital	29
1.2.1. Antes da era digital.....	29
1.2.2. Sistemas computacionais de auxílio ao projeto.....	33
1.2.3. Sistema generativo	35
1.2.4. Desenho / projeto paramétrico	44
1.4.3. Ensino de informática nas escolas de arquitetura	64
1.4.4. Um novo currículo para o projeto digital	64
2. Metodologia.....	68
2.2.1. Atividade 01: parametrização de um parabolóide hiperbólico	70
2.2.1.1. Descrição do contexto	71
2.2.1.2. Descrição da atividade	73
2.2.1.3. Aplicação da atividade 01.....	93
2.2.1.3.1. Atividade 01-A: GGDIII e Informática I	93
2.2.1.3.2. Atividade 01-B: GGDIII	94
2.2.2. Atividade 02: oficina de extensão.....	99
2.2.2.1. Descrição do contexto	99
2.2.2.2. Descrição da atividade	99

2.2.2.3. Aplicação da atividade 02.....	112
2.2.2.3.1. Atividade 02-A: oficina Alfa Gaviota	113
2.2.2.3.2. Atividade 02-B: oficina GEGRADI	119
3. Resultado e discussões.....	123
3.1. Avaliação da atividade 01.....	124
3.2. Avaliação da atividade 02.....	130
3.4. Conceitos e princípios de sistemas generativos e desenho paramétrico	133
3.5. Discussão.....	137
CONCLUSÃO.....	138
REFERÊNCIAS.....	140
Apêndices	151
Anexos	208

INTRODUÇÃO

A era digital está marcada por uma mudança radical no que consiste a troca de informação. Nicholas Negroponte (1995), quando fala no “Ser Digital”, traz reflexões sobre como a transição de dados vem mudando a maneira como nos relacionamos com o mundo ao nosso redor; como a informação em forma de “bits” vem substituindo aquela em forma de átomos. No que diz respeito à arquitetura, William Mitchell reforça o argumento de Negroponte, considerando que “prédios um dia foram desenhos materializados, mas, agora, cada vez mais, são informações digitais materializadas” (MITCHELL, 2008, p.1) Frente a isso é possível questionar se estamos vivenciando o surgimento de novas possibilidades de expressão formal, que nascem da interação entre a informação e a matéria.

Segundo Montaner (2001), esta transformação trouxe, à tona, um novo paradigma, que representa uma revolução na maneira de fazer arquitetura. Ele considera que o aumento acelerado das possibilidades, promovidas pelas mídias digitais, é responsável pelo afastamento de sistemas de produção em série, e uma aproximação a uma representação pluralizada como na arte contemporânea. Montaner (2001, p. 217) também sugere que, talvez, tenha sido o desejo de enxergar a realidade com os olhos do artista que levou muitos arquitetos a “recuperar uma autenticidade perdida”. Refere-se à identificação de um propósito, em tais arquitetos, de desenvolver um método arquitetônico, que busque uma aproximação com a exploração criativa dos artistas.

Para Oxman (2008), as abordagens digitais, no projeto, estão ampliando as possibilidades criativas de uma maneira jamais experimentada pelo desenho convencional feito no papel. O resultado disso é o surgimento de uma nova expressividade arquitetônica, caracterizada por uma conceituação própria e identificada por um conteúdo sem precedentes, marcado pela exploração livre e complexa da geometria (OXMAN, 2008). Montaner (2009, p. 85) descreve que a força de uma arquitetura digital está nos “espaços surgidos do impulso intencional do inconsciente, baseados na energia incontrolada e convulsa que flui do irracional e que eclodem em formas geradas por uma tensão interna”.

Os produtos de uma expressão digital inédita evidenciam o uso das mídias informáticas como um meio de interpretar, traduzir e gerar resultados de uma linguagem formal em que o projetista utiliza o computador para comunicar-se graficamente. Lawson (2005) descreve essa relação como uma conversa entre o projetista humano e a máquina. Para ele, se o uso do computador for mais do que “prancheta inteligente, seu propósito deve, ainda, ser o de auxiliar o projeto e a maior responsabilidade e, seguramente, a palavra final é do projetista humano” (LAWSON, 2005, p 281).

De acordo com Kolarevic (2005), pela primeira vez na história, arquitetos estão projetando não essencialmente o formato do edifício, mas sim projetando sistemas, ou seja, processos lógicos codificados digitalmente para gerar a forma desejada. Essa maneira de projetar lida com a definição e controle dos parâmetros específicos da forma. Isso possibilita que um modelo seja manipulado dinamicamente em diferentes instancias do processo de desenho proporcionando uma livre exploração da forma e a produção de inúmeras variações com base em uma referência formal primária (KOLAREVIC, 2005).

Oxman (2008, p. 100) questiona “como os conhecimentos projetivos, [...] que se originam do desenho no papel, podem ser adaptados às novas situações de modelos digitais e de processo projetual mediado por computador?”. Para a autora o que está claro, neste momento, no campo da arquitetura, é que se está explorando novas fronteiras do pensamento projetivo, o que, exige a necessidade de “formular uma análise racional das didáticas de projeto digital” (OXMAN, 2008, p. 102).

A reflexão sobre uma abordagem digital do projeto de arquitetura vai além de uma gama de preferências formais, ou mesmo do abandono das abordagens tradicionais, “ela explora novos desenhos e a relação entre o projetista, a imagem e a informação” (OXMAN, 2006 p.262). Escolas de arquitetura e urbanismo, ao redor do mundo, evidenciam a necessidade de um estudo que compreenda o reconhecimento da escala e das qualidades das mudanças teóricas, tecnológicas e pedagógicas, promovidas pelo avançado uso de mídias digitais para o projeto.

Essa pesquisa teve como objetivo entender esse novo campo da arquitetura, centrado no uso de técnicas digitais, integralmente ligadas ao processo de geração e exploração da forma. Este trabalho buscou, primeiramente, analisar o estado da arte desse campo e, em seguida, compreender sua aplicabilidade no contexto de ensino de arquitetura.

Através deste enfoque didático, buscou-se então, com este estudo, experimentar a inserção de conceitos e procedimentos que permitam, já na fase inicial de formação em arquitetura e urbanismo, reconhecer esta outra maneira de projetar, que está sendo atualmente anunciada.

Desta maneira este estudo partiu da formulação das seguintes questões:

É possível introduzir conceitos e exercitar técnicas de processos paramétricos digitais para o projeto com alunos em fase inicial de formação em arquitetura e urbanismo? Que conceitos fundamentais devem ser trabalhados? Que tipos de atividades poderiam responder a este objetivo?

Com objetivo de responder a essas perguntas, esse trabalho teve como foco a elaboração e análise de experimentos didáticos direcionadas a estudantes em fase inicial de formação em arquitetura e urbanismo. Os exercícios trabalhados buscam, através de atividades de introdução ao desenho paramétrico, verificar a compreensão e a motivação por parte dos estudantes quanto ao uso de técnicas avançadas de computação e modelagem gráfica para o projeto por meio do estudo da geometria.

Esta pesquisa apresenta, primeiramente, um capítulo de revisão bibliográfica, através da qual se buscou compreender o desenvolvimento histórico da relação entre a computação gráfica e a arquitetura, e como essa união resultou na produção de obras que exploram formas singulares e que, além disso, representam uma abordagem inédita e inovadora ao processo de projeto. Em seguida durante a revisão, faz-se uma análise dos sistemas generativos; destacam-se conceitos de processos baseados nas noções de lógica e que fazem uso de uma organização

algorítmica, para solucionar diferentes problemas de projetos, além de observar classificações e situações de uso de tais técnicas.

O foco é, então, direcionado para o desenho paramétrico; observa-se essa metodologia, através de seus conceitos e princípios, e sua relevância no processo de projeto. Uma análise sobre o uso do desenho paramétrico, no campo da construção de obras arquitetônicas, é realizada através da observação de projetos e arquitetos, e de autores que relacionam a forma construída com algumas conceituações que caracterizam os processos de geração digital da forma.

Ao final de etapa de revisão, discute-se a relação entre os processos de projetos tradicionais e os novos métodos digitais de projetar no campo da educação. Nesse momento, discute-se a interação do projetista com as mídias analógicas e digitais, e como isso está relacionado com a maneira como o projeto é pensado. Por fim, destacam-se processos de ensino e como a informática influencia os métodos de ensino e aprendizagem de arquitetura e urbanismo.

O segundo capítulo, sobre a metodologia do estudo, dedica-se aos experimentos realizados em sala de aula com alunos do segundo semestre da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas e em oficinas de extensão, ambas focadas na introdução ao desenho paramétrico. Através dessas atividades, buscou-se demonstrar a possibilidade de introduzir conceitos de base, métodos e técnicas que estão diretamente ligadas ao processo de desenho paramétrico e, além disso, apresentam o uso de sistemas generativos digitais para o projeto, como uma nova maneira de fazer arquitetura.

O terceiro e último capítulo apresenta os resultados dos experimentos, que foram obtidos através da observação dos depoimentos dos estudantes e da apreciação dos produtos das atividades. Com base nessa análise são apresentados alguns conceitos fundamentais que foram relacionados ao desenho paramétrico; destacados ao longo das atividades tanto pelo caráter do exercício em si como pela constatação dos alunos. Ao final apresenta-se uma discussão dos resultados encontrados relacionando-os com as informações coletadas na revisão bibliográfica.

1. Revisão bibliográfica

Neste capítulo são elencados alguns tópicos que organizam a construção do referencial, o qual delimita o marco teórico e metodológico deste trabalho. Ao longo do texto foram utilizados e destacados termos específicos, os quais caracterizam conceitos e procedimentos nesta área de estudo.

1.1. Arquitetura digital

O uso do computador em escritórios e escolas de arquitetura já não é, há bastante tempo, uma novidade no que diz respeito a sua utilização como uma ferramenta de representação de projeto. Desenhos bidimensionais, como plantas, cortes, fachadas, ou tridimensionais, como maquetes eletrônicas, são produzidos para obtenção de imagens em diferentes graus de realismo. Mesmo no que diz respeito à fase inicial de concepção de projeto, é possível observar que a exploração digital, seja ela bidimensional ou tridimensional, já faz parte do repertório de arquitetos e estudantes de arquitetura. Oxman (2008) usa o termo Digital Architectural Design (DAD) ou projeto de arquitetura digital para definir um processo que segue metodologias integralmente concebidas através de mídias digitais

Ao discursar sobre a arquitetura do novo milênio, Benevolo (2007) constata que, hoje, os avanços tecnológicos estão inseridos em toda a gama das etapas projetuais, patrocinados pela revolução informática, que possibilita a multiplicação dos controles, criando problemas não instrumentais, mas intimamente ligados à criação arquitetônica. Oxman (2008) apresenta um desses problemas com a seguinte questão: estaria essa abordagem digital realmente promovendo novos conteúdos ao projeto, ou esse seria somente um caso de exploração desregrada de uma nova mídia? Segundo um exemplo apresentado por Negroponte (1995), as duas situações poderiam ser verdadeiras. Ele ilustra essa ideia referindo-se à câmera de vídeo nas mãos de um amador que esbanja os efeitos de lentes

panorâmicas e do grau de liberdade que a câmera proporciona; geralmente, o resultado não é o mais agradável. No entanto, considera também que, com tempo e experiência, este cinegrafista poderá aprender a utilizar toda a liberdade oferecida pela câmera com inteligência e moderação, desde que consciente em seu propósito.

A expansão informática e a globalização têm tido um profundo impacto nas sociedades, economias e culturas ao redor do mundo. Nesse sentido, Kolarevic destaca que “os arquitetos fazem o que vêm fazendo há séculos, tentam interpretar as mudanças e encontrar uma expressão apropriada para capturar o espírito da Era Digital” (KOLAREVIC, 2005, p.27). Um reflexo desse movimento pode ser observado por dois eventos: a exposição ‘Deconstructivis Architecture’ exibida no Museu de Arte Moderna de Nova Iorque em 1988 que, para Greg Lynn (1993), teve significativa importância em apresentar a complexidade de vanguarda arquitetônica naquele momento; e a exposição Non-Standard Architecture, de 2003, no Centro Pompidou em Paris que Oxman (2006) descreve como sendo de simbólica importância para o reconhecimento de processos digitais de projeto como uma expressão significativa no discurso contemporâneo.

Para Mitchell (2008), é evidente que a forma dos prédios está mudando e adquirindo aspectos de complexidade. Considera que isso pode ser verificado em inúmeras publicações, ao longo das últimas décadas e, hoje em dia, amplamente observado em sítios virtuais que apresentam novos projetos arquitetônicos quase em tempo real, quando são lançados ou mesmo quando ainda estão em sua fase de concepção. Em Constructing complexity (2005) Mitchell convida o leitor a imaginar a causa dessa complexidade na arquitetura, observando que essa perceptível mudança é mais do que um maneirismo arquitetônico, é “o resultado de novas condições criadas pela revolução digital” (MITCHELL, 2008, p.1).

1.1.1. Um caso emblemático: Museu Guggenheim Bilbao de Frank Gehry

A obra de Frank Gehry está marcada pela busca pessoal do arquiteto por um vocabulário e uma livre abordagem ao projeto. Suas formas não necessariamente refletem o entorno, mas sim conversam com o contexto e respondem de maneira intensa ao sentimento do lugar. A característica exploratória

e as qualidades escultóricas do trabalho de Gehry são evidenciadas por seu processo particular de busca formal e criação de espaços, onde, segundo o próprio arquiteto, “o imaginário torna-se real em composições surrealistas” (GEHRY apud BRAWNE, 2003, p.57).

Os projetos do arquiteto Frank Gehry são reconhecidos pelas técnicas digitais utilizadas para viabilizar suas formas, entretanto sua mais expressiva e verdadeira exploração formal é feita pelo uso de maquetes (COLOMIN, 2006). Em seu processo, Gehry representa o “volume do edifício por meio de desenhos propositalmente imprecisos” (MONEO, 2008, p.238) (fig.1) que servem de referência para a elaboração de um modelo físico.



Figura 1: Croquis de Frank Gehry para o Museu Guggenheim de Bilbao.
Fonte: <<http://frankgehyproject.blogspot.com.br/>>

A etapa do desenvolvimento de maquetes tem a colaboração fundamental de seus sócios, os quais interpretam seus desenhos e montam tais maquetes iniciais. Gehry então se junta a eles para dar continuidade ao processo (COLOMIN, 2006). Em uma abordagem fundamentalmente analógica o arquiteto utiliza materiais como papelão, madeira, tecido, argila, etc. que são então recortados, colados, sobrepostos, amassados, dobrados, etc. para gerar a forma desejada (POLLOCK, 2006). A forma é consolidada pelo manuseio direto de Gehry (fig.2), que interpreta o potencial que cada peça tem para ser transformada, fragmentada, substituída, etc..

Assim, “as maquetes, como instrumentos do fazer, são em si mesmas, arquitetura” (MONEO, 2008, p.237).

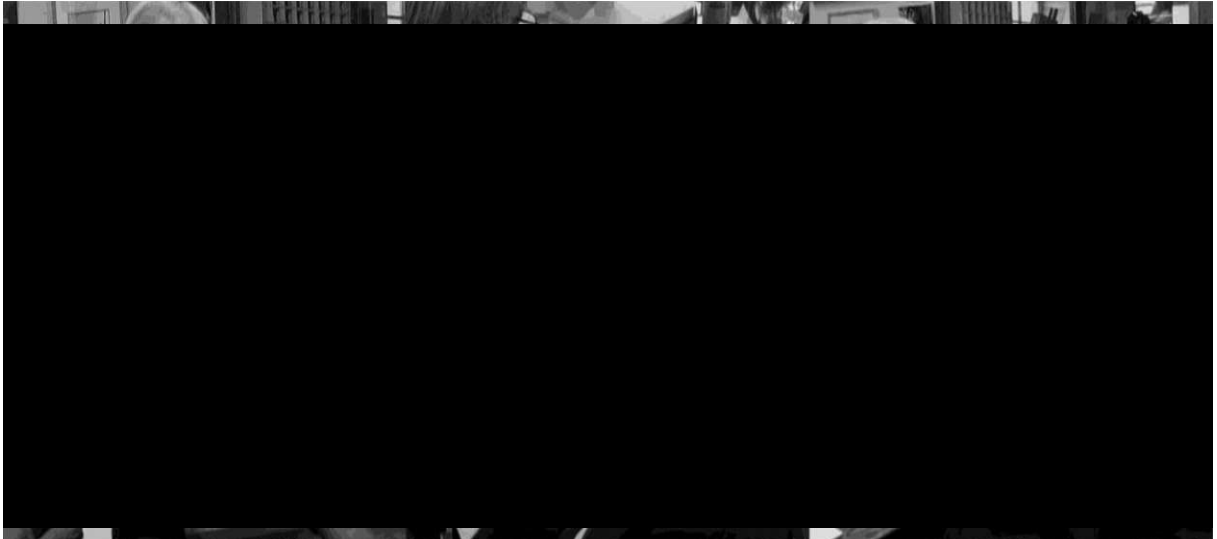


Figura 2: Cenas do filme Sketches of Frank Gehry.
Fonte: POLLOCK, 2005

O escritório de Frank Gehry foi pioneiro na introdução de meios digitais como parte integrante do processo de concepção formal em arquitetura, uma abordagem conduzida pela tecnologia, e possibilitou alcançar um nível de complexidade formal inédito. Nesse sentido o Museu Guggenheim de Bilbao (fig. 3) é, de acordo com Oxman (2006, p.234), “o mais proeminente catalisador de teorias sobre novas direções formais, postulando uma nova metodologia de projeto”.

Construído entre 1992 e 1997, o Guggenheim Bilbao é descrito por Benevolo (2007, p 205) como “um artefato insólito, onde a presença dos locais internos é absolutamente subordinada ao prestígio da imagem externa no panorama urbano”. De acordo com este mesmo autor, o edifício é constituído de uma estrutura em pedra e armações curvilíneas revestidas por placas de titânio individualmente projetadas, produzidas e instaladas. O resultado é uma arquitetura fluida de formas orgânicas e esculturais. A idealização e construção dessa obra só foram possíveis graças ao uso de equipamentos computacionais potentes e de informática avançada, e que “difícilmente teria sido concebida em um momento anterior” (BRAWNE, 2003, P.58).



Figura 3: Museu Guggenheim Bilbao (1992-1997). Frank Gehry.
Fonte: <<http://www.waymarking.com>>

No início dos anos 90, o escritório de Gehry, sob a orientação do arquiteto James Glymph, estava engajado na pesquisa sobre as potencialidades de técnicas digitais avançadas (KOLAREVIC, 2005), os experimentos realizados por esse grupo estabeleceram precedentes para a integração de sistemas computacionais no processo arquitetônico como um todo (OXMAN, 2006). Os primeiros trabalhos utilizavam sistemas computacionais para viabilizar a representação dos esboços e maquetes de estudo, desenvolvidos, a mão, por Gehry, mas ainda havia a necessidade de integrar o processo de análise, fabricação e montagem das formas complexas produzidas pelo arquiteto (KOLAREVIC, 2005).

A solução encontrada foi um programa gráfico originalmente desenvolvido para indústria aeronáutica, que viabilizou o trabalho na descrição de superfícies curvas, além de permitir a análise estrutural e a computação de dados construtivos. Esta solução caracterizou um “distanciamento radical nas normas da prática profissional” (KOLAREVIC, 2005, p.31), e permitiu que Gehry explorasse “qualquer forma sem sentir receio de não poder representá-la” (MONEO, 2010, p.278). O resultado desse processo introduz, no campo da arquitetura, “novas abordagens geométricas” (OXMAN, 2006, p.234), onde a busca formal resulta em volumes livres

e altamente complexos, que são posteriormente viabilizados por meios computacionais, criando uma relação de mão-dupla entre o modelo físico e o modelo digital (KOLAREVIC, 2005) (fig.4).

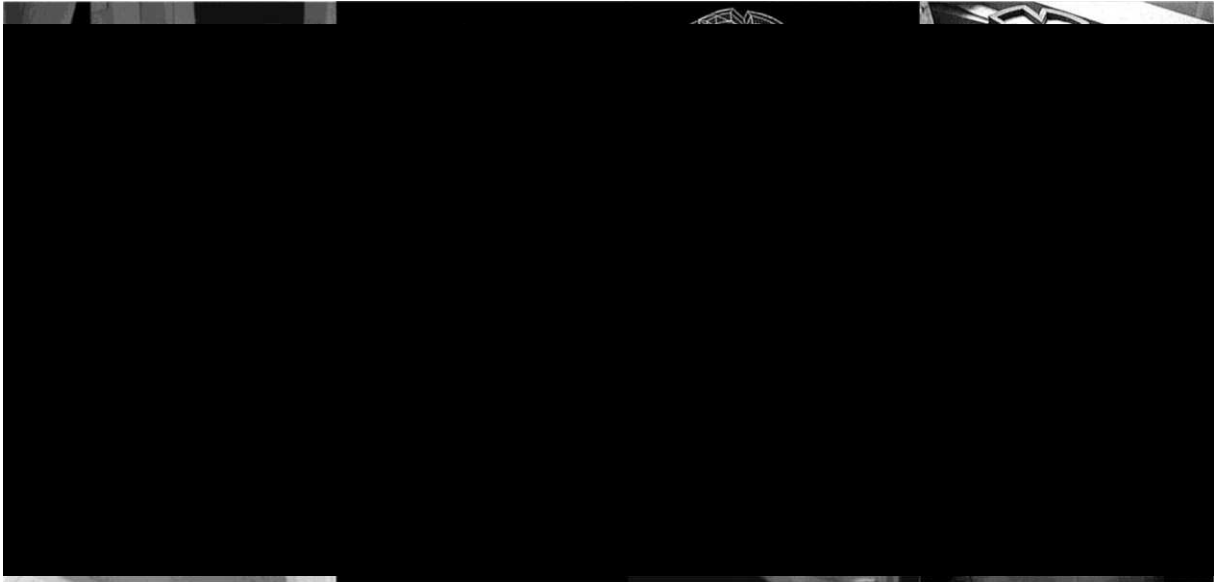


Figura 4: Modelos físicos e digitais do Guggenheim Bilbao.
Fonte: KOLAREVIC, 2003

Essa tecnologia permite que eu me aproxime do ofício. No passado existiam muitas camadas entre os rascunhos e o prédio final, o sentimento aliado ao projeto podia perder-se no caminho até chegar ao artesão. Parecia que eu vinha falando uma língua estrangeira, e agora, repentinamente, o artesão me compreende. Nesse caso, o computador não é desumanizante, e sim um interprete. Frank Gehry (LINDSEY, 2001, p.42, tradução nossa).

De acordo com Brawne (2003) o projeto do Museu Guggenheim Bilbao marca o encontro do arquiteto com o vocabulário que vinha buscando em seu processo e nele explora os limites de sua arquitetura.

Segundo Moneo (2010, p.278), hoje se observa uma realidade no campo da arquitetura em que os limites das possibilidades projetivas foram rompidos pela “extensão do que entendemos como linguagem arquitetônica a um mundo infinito de formas” (MONEO, 2010, p.278). Moneo explica que Gehry pode usufruir dessa liberdade, pois sabe que a tecnologia lhe possibilita fazê-lo, e com isso consegue transformar-se no que buscava ser: “um inventor de formas” (MONEO, 2010, p.278).

1.2. Sistemas de projeto digital

Em 1975 William Mitchell escreveu o texto *The theoretical foundations of computer aided design* que fundamentou os princípios teóricos de processos computacionais para o projeto. Nesse texto o autor propõe que o uso menos ambicioso da máquina é dar-lhe apenas funções de representação, deixando todo trabalho de produção e avaliação de soluções ao projetista. Já considerava que o uso mais ambicioso concede à máquina funções de geração e análise de soluções. No entanto, Mitchell já deixava claro que essa geração e análise automatizada só são possíveis tendo-se como base as considerações lógicas introduzidas pelo projetista humano no sistema digital. Essa relação entre o projetista, o meio digital e o objeto é a fonte de muitas das pesquisas e avanços teóricos, tecnológicos e estilísticos no campo da arquitetura contemporânea.

1.2.1. Antes da era digital

A ideia de utilizar um sistema para a geração de soluções arquitetônicas não é nova. No livro de 1990 *"The Logic of Architecture"* (*"A Lógica da Arquitetura"* na versão traduzida para português em 2008), Mitchell apresenta dois exemplos clássicos de uso de processos combinatórios para a produção de um número variado de resultados arquitetônicos. O primeiro exemplo está registrado na obra *Précis des leçons d'architecture* de J.N.L. Durand (MITCHELL, 2008). Durand era professor de arquitetura da *École Polytechnique*, e desenvolveu um sistema de combinação de formas clássicas moduladas para atender a diferentes programas de necessidades (MONTANER, 2001) (fig.5).

De acordo com Mitchell (2008), o grupo de regras da arquitetura neoclássica, desenvolvido por Durand, era aplicado partindo-se da escolha dos detalhes para a configuração da planta da edificação, ou vice e versa. Diferentes abordagens resultariam em vantagens ou desvantagens das estratégias projetuais. Em alguns casos possibilitando adaptações e, em outros, exigindo que os componentes fossem redesenhados.

As villas paladianas constituem o outro exemplo apresentado por Mitchell, por derivarem da aplicação de regras compositivas para a geração de alternativas de plantas residenciais. As plantas criadas através de um processo recursivo de produção de soluções têm como base as normas estabelecidas por Palladio, que resultam na elaboração de múltiplas soluções (fig.6). Uma abordagem digital à sistematização palladiana (fig.7), realizada por Mitchell nos anos 70, demonstra inúmeras possibilidades combinatórias produzidas, automaticamente, pelo computador.



Figura 5: Précis des leçons d'architecture (1802-1805), J.N.L. Durand.
Fonte: <<http://unamaquinalectordecontexto.wordpress.com>>

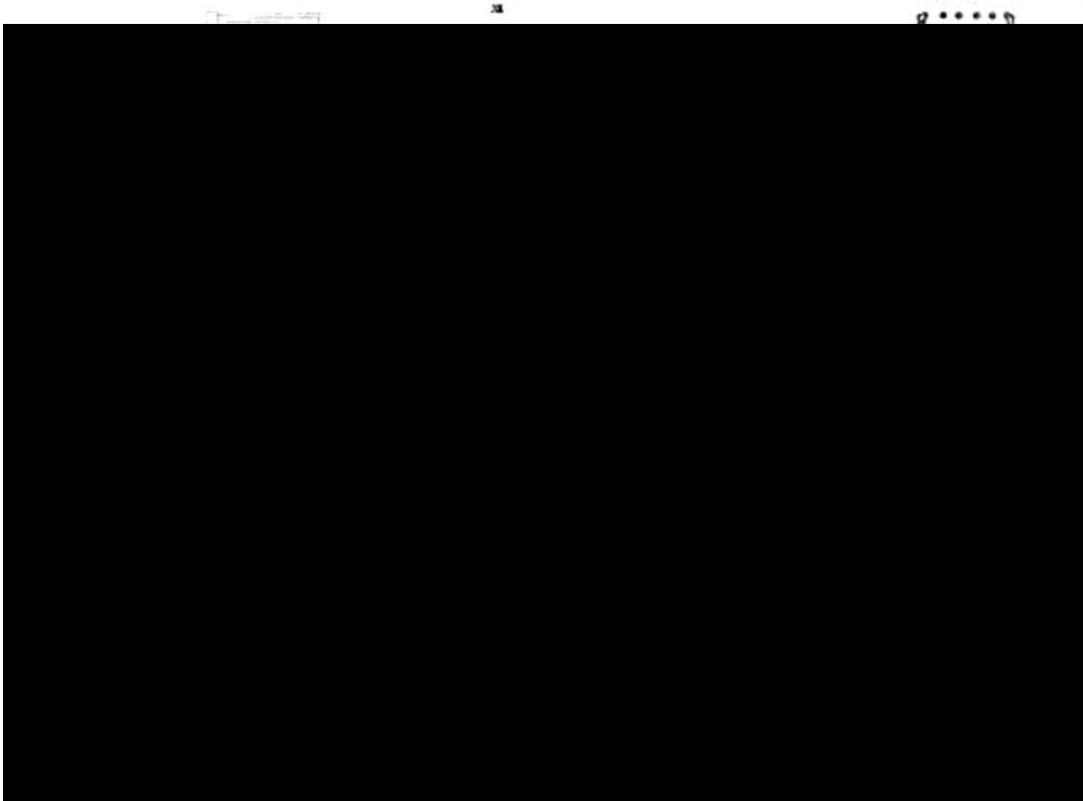


Figura 6: Vilas Palladianas.
Fonte: <http://katakres.wordpress.com>



Figura 7: Alternativas produzidas por Mitchell (2008) para vilas palladianas de cinco por três cômodos com salões centrais.
Fonte: MITCHELL, 2008

De acordo com Burry e Burry (2006) a preferência pelo uso de modelos tridimensionais a modelos bidimensionais, para o desenvolvimento de ideias projetivas, vem antes da existência do computador e, para esses autores, isso é especialmente evidente, na obra do arquiteto catalão Antonio Gaudí. Exemplificam com os procedimentos empregados no projeto para igreja da Colônia Güell, quando Gaudí se utilizou de modelos suspensos como uma ferramenta de projeto interativa para geração das formas das abóbodas internas. A forma era produzida por correntes ou cordas que tinham suas extremidades apoiadas, formando arcos de catenárias controlados por pesos distribuídos ao longo do modelo. A exploração de variações da forma era feita pelo controle dos pesos. A visualização invertida do arco, auxiliada por um espelho, representava o espaço interno da igreja (fig.8) (GIRALT-MIRACLE, 2002).



Figura 8: Maquete de estudos de arcos de catenárias da igreja da Colonia Güell, Gaudí.
Fonte: GIRALT-MIRACLE, 2002

Mitchell (1975) considera o processo utilizado por Gaudí como um sistema generativo analógico para a produção de soluções, ou seja, sistema que representa um determinado projeto através de rodas, discos, colunas deslizantes, etc. em que as operações utilizadas para modificar o estado do sistema são mecânicas. Pelas palavras de Gaudí registradas em Giralt-Miracle, (2002) é possível compreender a consideração de Mitchell.

Calculo tudo: primeiro apoio alguns pesos para buscar o arco e depois trabalho com o arco encontrado com formas e materiais depois volto a revisar os pesos e vario ligeiramente os arcos. Dessa maneira a forma lógica emerge a partir das necessidades. (GIRALT-MIRACLE, 2002, P.97, tradução nossa).

1.2.2. Sistemas computacionais de auxílio ao projeto

A ideia de trabalhar com gráficos interativos computacionais partiu principalmente da pesquisa de Ivan Sutherland que, em 1963, apresentou sua tese de doutorado 'Sketchpad', pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) (WEISBERG, 2008). Segundo Nicholas Negroponte (1995), professor do MIT desde 1966, o programa computacional Sketchpad, apresentado por Sutherland, teve um alcance tão expressivo na comunidade científica, que muitos levaram uma década para entender e apreciar suas contribuições. Para Negroponte (1995, p.65) este foi o "big bang dos gráficos computacionais".

Conforme descrito por Weisberg (2008) e ilustrado pela figura 9, o Sketchpad era composto por uma tela (osciloscópio), uma caneta óptica, um grupo de botões, um painel de interruptores e quatro botões de giro utilizados para mudar o tamanho e posição da imagem na tela. Negroponte (1995) explica que em tal sistema o desenho era feito através do traçado de linhas, visualizadas em tempo real, e que permitia ao usuário interagir diretamente com a tela do computador, utilizando uma caneta óptica.



Figura 9: Sketchpad.

Fonte: < <http://www.youtube.com/user/bigkif/>>

Uma tela conectada a um computador digital nos dá a oportunidade de nos familiarizarmos com conceitos que não poderiam ser compreendidos no mundo físico. Isso é como atravessar um espelho para um maravilhoso mundo matemático. Ivan Sutherland (SUTHERLAND, 1965, p.1, tradução nossa).

Este tipo de sistema de auxílio ao projeto é, hoje, largamente conhecido pela sigla CAD, que significa computer-aided design ou projeto / desenho auxiliado por computador. De acordo com Celani (2003), o CAD não é especificamente um programa de desenho vetorial em particular, mas sim uma abordagem computacional aos diferentes âmbitos do projeto, que inclui a representação, análise, simulação, otimização e geração de soluções projetivas.

O CAD interativo desenvolvido por Sutherland permitia a visualização da forma por meio de uma representação gráfica compreendida, matematicamente, pelo computador. Portanto, uma forma poderia ser descrita como um conjunto de linhas ou coordenadas dos vértices que se conectam para formar o desenho. De acordo com Mitchell (1989 p.3) Sutherland introduziu a ideia de “modelar geometricamente pela definição dos limites que descrevem os elementos,

combinado com a manutenção da relação entre eles”. Portanto, o projetista, ao desenhar, especificava as restrições geométricas e relacionais que, então, eram seguidas pelo sistema CAD (MITCHELL, 1989).

De acordo com Negroponte (1995), nos dez anos que seguiram a criação do CAD interativo, o interesse dos investidores distanciou-se dos aspectos de interatividade e de visualização em tempo real, proporcionado pelos gráficos computacionais. Toda a energia criativa voltou-se para a produção de imagens realistas. Celani (2003) explica que, eventualmente, essa tecnologia caiu em desuso, pois, além de nessa época a interação homem-máquina ainda ser pouco desenvolvida, a mão de obra para o desenho técnico era barata e de boa qualidade. Foi somente nos anos 80 que a popularização do Computador Pessoal (PC) fez com que o sistema CAD voltasse ao campo do projeto, no entanto em uma versão menos específica, mais voltada para a representação, a fim de viabilizar economicamente sua comercialização em larga escala. Mitchell (2005) registra que eventualmente, os sistemas CAD tornaram-se ferramentas de simples representação técnica, utilizados largamente como uma maneira de reduzir tempo e custos na produção de edificações, transpondo o trabalho que era feito no papel, para dentro do ambiente controlado da computação gráfica.

1.2.3. Sistemas generativos

Mitchell (1975) descreve o projeto como um processo em que o objetivo é encontrar soluções relevantes que atendam predicados específicos de um produto final desejado. E, portanto, a busca por essas soluções e busca pela melhor maneira de atender esses predicados, configuram um problema de projeto. O problema surge quando as ações necessárias para resolvê-lo não são imediatamente óbvias. Nesse caso, o objetivo do projetista deve ser procurar um caminho ou sequência de operações que o leve a alcançar possíveis soluções relevantes. Uma sequência de procedimentos recursivos de busca por soluções em potencial pode ser chamando de sistema generativo. Frazer (1995) explica esse procedimento como um processo evolutivo em que as regras generativas produzem soluções que podem ter sua evolução acelerada e, respectivamente, testada como nos processos que acontecem na natureza.

Para que seja possível delinear as possibilidades resultantes de um sistema generativo, Mitchell (1989, p.1) apresenta que é necessário haver “um vocabulário de formas iniciais, um repertório de transformações dessas formas e operadores de combinação”. Sobre essa forma inicial, as regras de transformação são aplicadas recursivamente, até que se chegue ao resultado desejado. “O processo de geração é finalizado com sucesso, quando o projetista verifica que alguns predicados são satisfeitos pela forma produzida” (MITCHELL, 1989, p.1).

O processo é o que caracteriza os projetos generativos como uma nova abordagem ao projeto que tem em seu eixo o pensamento lógico na concepção da forma. Os estudos de Fisher e Herr (2001), sobre o ensino de desenho generativo, apresentam o tema como uma metodologia de projeto. Consideram que essa metodologia se diferencia de outras abordagens no sentido que, durante o processo de desenho, o projetista não interage com materiais e produtos de maneira direta, mas sim através de um sistema que realiza o processo de geração. Essa ideia é sintetizada por esses autores, ao ilustrarem a mudança na relação projetista e objeto, de um modelo de interação direta para um modelo de interação indireta através de um sistema generativo (fig10).



Figura 10: Relações entre projetista e produto. Abordagem tradicional e generativa ao projeto.
Fonte: (FISCHER e HERR, 2001)

Kolarevic (2005) complementa esse mesmo tipo de ideia explicando que, ao invés de modelar um elemento por sua forma, o projetista articula uma abordagem generativa interna ao sistema. Esse sistema, ilustrado pela figura 11, produz, de maneira automática ou por meio de manipulação, uma série de possibilidades sobre as quais o projetista analisa e escolhe a solução mais apropriada para ser mais amplamente desenvolvida.

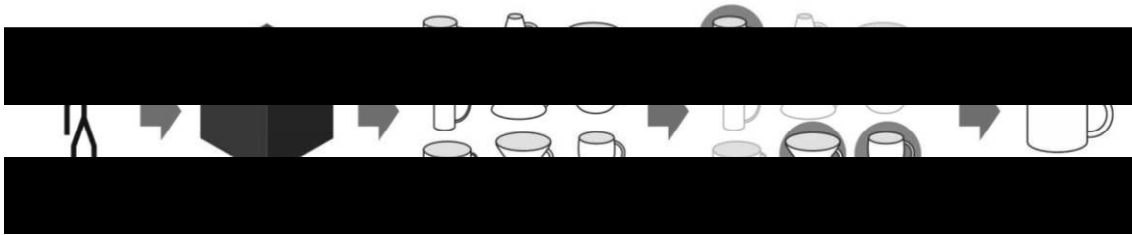


Figura 11: Ilustração de Fische e Herr (2001) ampliada com base nas considerações de Kolarevic (2005), que demonstram a produção sistemática soluções projetuais que são posteriormente selecionadas pelo projetista.

Fonte: autor

De acordo com Frazer (1995, p.12), “a perfeição e variedade das formas naturais é o resultado da experimentação rigorosa da evolução.” Para esse autor a arquitetura é, literalmente, uma parte da natureza, no sentido em que o ambiente construído pelo homem é, hoje, uma grande parte do ecossistema global e que o homem e a natureza dividem os mesmos recursos para construção. Weinstock (2010, p.11) complementa dizendo que “todas as formas da natureza e todas as formas de civilização têm ‘arquitetura’”. O autor considera que as formas derivam de um arranjo de material no espaço, determinando, através do tempo, sua forma, tamanho, comportamento e duração, e como eles são formados.

Segundo Frazer (1995), em processos generativos, a inspiração primária vem fundamentalmente dos processos formativos e dos sistemas de informação da natureza. Fisher e Herr (2001) explicam que a produção de gerações, a partir de um modelo inicial, é intrínseca para variação e reprodução de toda a vida. Para eles isso torna bastante óbvia a ideia de adotar uma abordagem ‘natural’ aos projetos feitos pelo homem. A possibilidade de gerar variações de elementos e, em seguida, escolher aqueles que são satisfatórios, que sobrevivem ao processo de seleção (fit

survivors), representa o interesse em buscar inspiração na natureza, como modelo para criação projetual.

Os processos generativos baseiam-se no conceito de uma evolução da forma, seja ela feita pela produção automática de soluções ou resultado de um processo exploratório. Frazer observa que, em um processo evolutivo de geração, “quando ‘projetamos’, estamos claros de nossas intenções, mas, possivelmente, ‘cegos’ quanto ao eventual produto do processo que estamos criando” (FRAZER, 1995, p. 12). Na natureza, esse processo complexo é descrito como um comportamento emergente. Johnson explica que, nesse processo, a resolução dos problemas é feita “com auxílio de massas de elementos mais simplórios, em vez de contar com uma única divisão executiva inteligente” (JOHNSON, 2003, p. 14). São sistemas de baixo para cima (bottom-up) e não de cima para baixo (top-down). Os sistemas generativos fazem uso do conceito de emergência, pois, a partir da definição das regras geradoras, ao invés da descrição da forma final, é possível explorar possibilidades projetivas, através da articulação de um modelo. Para Kolarevic (2005, p.13), este processo dinâmico não linear de ‘encontrar a forma’ ao invés de ‘fazer a forma’ acontece de maneira intencional no uso técnicas generativas digitais. Nesse contexto, a contínua geração de resultados novos e inesperados é produto de uma complexa rede de interdependências e interações definidas pelas operações de um sistema computacional.

Em 1975, Mitchell já vislumbrava os benefícios da adoção de um sistema generativo computacional, no âmbito da prática projetual de arquitetura. Destacava a possibilidade de geração de um grande número de soluções possíveis e a seleção daquela que melhor respondesse às definições estabelecidas em um problema de projeto. Para Kolarevic (2005), o processo generativo digital explora a morfologia arquitetônica, focando nas propriedades emergentes e adaptáveis da forma. Nessa direção, Fischer e Herr (2001) ressaltam que a inspiração ocorre não somente em termos de criação de produtos, mas também em termos de criação de processos para a resolução de problemas projetivos, sejam eles formais ou técnicos, estejam eles no início, no meio ou no final do processo criativo.

Fischer e Herr (2001) explicam que uma abordagem generativa do projeto não está restrita a uma ferramenta em especial. No entanto, os meios computacionais se aplicam muito bem a este processo, pois possibilitam o processo de um grande número de informações em pouco tempo, permitindo de maneira automatizada a geração de grande quantidade de soluções. Além disso, a organização sistemática dos dados projetivos, em um formato computacional facilita o processo de substituição de elementos compositivos e atributos. As soluções, por meio de desenhos generativos, vêm em forma de representações digitais, proporcionando avaliação dos resultados na etapa compositiva antes de receber sua forma física (FISCHER e HERR, 2001).

1.2.3.1. Algoritmos generativos

Para Terzidis (2006) um algoritmo refere-se a uma articulação de um plano estratégico para solucionar um problema conhecido, ou uma busca aleatória de possíveis soluções para resolução de problemas, parcialmente conhecidos. Mitchell (1975) explica o conceito de algoritmo como sendo um procedimento para a geração de soluções em potencial determinado por símbolos, tal como palavras, números ou operações matemáticas. Sobre esses símbolos é possível designar operações de transformação como, por exemplo, substituição, concatenação, adição, subtração, multiplicação. Mitchell (1975) considera que o reconhecimento do conceito de um parâmetro projetivo e da associação de parâmetros em estruturas de dados é fundamental para a compreensão do processo de projeto que utiliza uma sistematização algorítmica. É possível modelar um sistema simbolicamente, permitindo que determinadas variáveis representem propriedades específicas do sistema.

Protagonistas no uso desses conceitos aplicados à arquitetura, Stiny e Gips (1972) destacam que em projetos que têm como base definições generativas, o projetista pode decidir como será a relação entre estrutura e material e, assim, determinar, algoritmicamente, o objeto resultante. Para Mitchell (1975), um sistema generativo, então, é capaz de produzir, por meio de transformações lógicas e aritméticas, inúmeras soluções possíveis para um problema especificamente descrito.

Terzidis (2006) ressalta que a maioria dos algoritmos é criada tendo em mente uma solução específica para um problema, no entanto existem alguns problemas em que a solução é desconhecida, vaga ou mal definida. No caso de soluções mal definidas, o algoritmo torna-se uma maneira de explorar possíveis caminhos que podem servir de guia para soluções em potencial. O uso de uma articulação linguística pode servir para descrever as etapas algorítmicas de um problema e, também, para comunicar a solução a outro agente para dar continuidade ao processo (fig.12).

Ainda para Terzidis (2006), o papel do algoritmo em um processo de projeto generativo é o de mediador entre a mente humana e o poder de processamento da máquina. Para cada dado de entrada (input), um algoritmo produz um dado de saída em particular (output) (STINY e GIPS, 1978). Essa habilidade do algoritmo de servir como um tradutor pode ser interpretado com dois sentidos; tanto como um meio de descrever para o computador como solucionar um problema, ou como uma reflexão do pensamento humano em forma de algoritmo. (TERZIDIS, 2006)

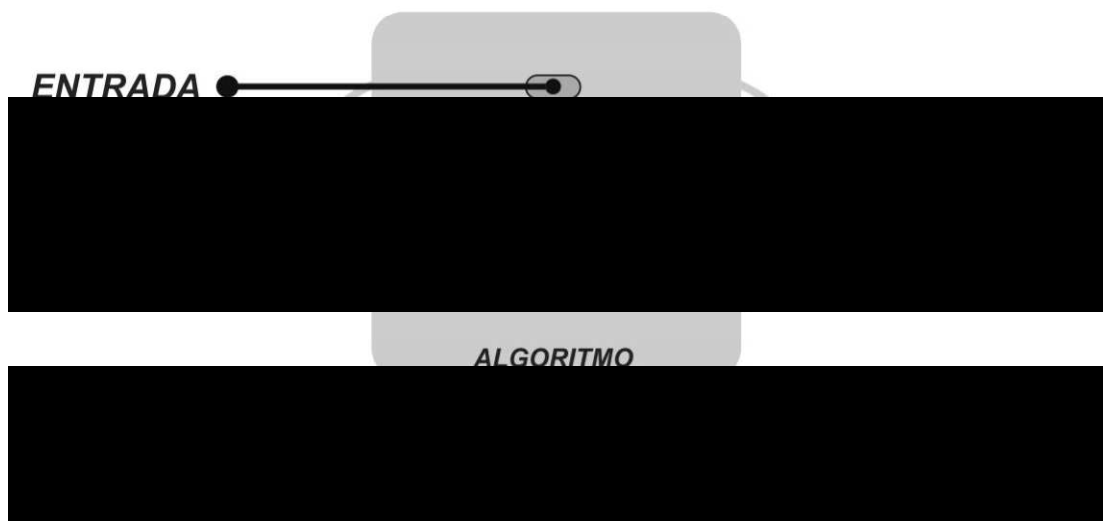


Figura 12: Processo algorítmico para solução de problemas.
Fonte: autor

O diálogo algorítmico entre o projetista e o computador é feito por meio de linguagem de programação (scripting) (fig.13), em que o usuário fornece as instruções codificadas ao computador com o qual ele está interagindo. Essa

abordagem para introduzir dados no computador permite que o usuário customize ou completamente reconfigure uma determinada plataforma digital para suas próprias necessidades (BURRY, 2011). É através dessa linguagem que é possível utilizar um repertório de funções combinadas com rotinas algorítmicas pré-configuradas, para produzir possibilidades projetuais, além das capacidades operacionais de um determinado sistema.



Figura 13: Exemplo de uma operação de modelagem de um prisma através de linguagem de programação no programa AutoCAD.
Fonte: autor

1.3.2.2. Classificação dos sistemas generativos

As ideias demonstradas, anteriormente, são examinadas e expandidas por Celani, Vaz e Pupo (2013), que discutem sobre a questão da aplicabilidade de distintos métodos generativos, para solucionar diferentes problemas de projeto.

Segundo esses autores, a utilização de um sistema generativo pode ocorrer em três situações: otimização de soluções de problemas, geração de famílias de objetos e exploração (tab.1).

Tabela 1: Situações de uso dos sistemas generativos.
Fonte: (CELANI, VAZ, PUPO, 2013)

SITUAÇÕES DE USO DOS SISTEMAS GENERATIVOS DE PROJETO			
	PROBLEMA	SOLUÇÃO	RESULTADO
OTIMIZAÇÃO DE SOLUÇÕES DE PROBLEMAS	<i>Critérios bem definidos</i>	<i>Método indireto de busca de soluções, todas possibilidades testadas</i>	<i>Visa atender de melhor maneira a requisitos pré-determinados</i>
GERAÇÃO DE FAMÍLIAS DE OBJETOS	<i>Critérios bem definidos</i>	<i>Várias soluções similares mas com algumas diferenças</i>	<i>Soluções mais criativas e originais por meio da variedade</i>
EXPLORAÇÃO	<i>Critérios mal definidos</i>	<i>Diferentes soluções avaliadas para encontrar aquela mais satisfatória</i>	<i>Soluções mais criativas e originais por meio da variedade</i>

De acordo com Celani, Vaz e Pupo (2013) existem diferentes maneiras de agrupar os sistemas generativos, os autores dão destaque a dois métodos; o primeiro, sugerido por Knight (2011), divide os processos entre aqueles que se baseiam nas noções de lógica ou de biologia (tab.2), e o segundo se apoia nos estudos de Mitchell (1975), em que os processos são divididos de acordo com o método de representação: icônica que são representações visuais, ou desenhos, como plantas e cortes; simbólicas como nas representações matemáticas; e análoga que são representadas pelo comportamento do sistema.

Os autores propõem que uma caracterização dos diferentes processos que se baseiam em sistemas generativos pode ser feita ainda pela combinação dos dois métodos apresentados, e ainda acrescentam outras formas de caracterização como: possibilidade de automação, nível de controle que o usuário tem sobre o projeto, determinística, possibilidade de identificação de formas emergentes, espaço de busca e objetividade dos procedimentos de avaliação geralmente utilizados (tab.2).

Tabela 2: Exemplos de sistemas generativos agrupados em duas categorias propostas por Kinght (2011).
Fonte: CELANI, VAZ, PUPO (2013).

[illegible]

Tabela 3: Proposta de Celani, Vaz e Pupo para categorização dos sistemas generativos.
Fonte: CELANI, VAZ e PUPO, 2013, p. 34)

	Autôma-	Algorit-
		

Com base na tabela proposta por Celani, Vaz e Pupo (2013) (tab.3), é possível verificar, de maneira específica, a aplicabilidade de cada método, ao avaliar fatores que caracterizam cada processo generativo, como por exemplo, abordagens que são determinadas por uma participação maior ou menor do projetista, como na

fase de concepção em que é possível verificar o nível de controle ou nas questões relacionadas com os resultados formais se são previsíveis, emergentes ou o processo de avaliação.

1.3. Desenho paramétrico

De acordo com Woodbury em *Elements of Parametric Design* (2010, p.7), “projeto é mudança e é isso que a modelagem paramétrica representa”. Woodbury (2010) relata que o Sketchpad de Sutherland, em 1963, já possuía propriedades paramétricas no centro de seu sistema, ou seja, aquilo que era representado nesse sistema poderia ser editado para adaptar-se a um contexto em transformação, sem que fosse necessário redesenhá-lo, essa invenção antecipou uma das características principais dos sistemas CAD que viriam.

O desenho ou projeto paramétrico, que também pode ser chamado de modelo associativo (KHABAZI, 2010) ou modelo restritivo (WOODBURY, 2010), está baseado no uso de parâmetros na exploração de formas geradas por meio de relações geométricas. (OXMAN, 2006) Em um desenho paramétrico, os parâmetros de um projeto em particular são especificados, não a sua forma (KOLAREVIC, 2005). A relação entre os objetos é explicitamente descrita, estabelecendo interdependências entre os vários objetos. A partir do momento em que se tem a definição compositiva da forma, variações podem ser geradas, transformadas e manipuladas pelo controle dos parâmetros. A aplicação de diferentes valores pode gerar múltiplas variações ao mesmo tempo em que as propriedades topológicas são mantidas. (OXMAN, 2006) A topologia estuda as propriedades intrínsecas e qualitativas de formas geométricas que não são, normalmente, afetadas por mudanças em tamanho e formato, permanecendo invariáveis ao longo de contínuas transformações, ou deformações elásticas como esticar ou torcer (KOLAREVIC, 2005).

A partir desse método de geração da forma, o projetista tem a sua disposição um meio interativo e dinâmico, que torna possível a modelagem digital de uma geometria. O desenho paramétrico possibilita relacionar as propriedades de

exploração da forma com o processo de solução de problemas de projeto, de maneira que o projetista interage com o modelo por meio de linguagem computacional, o que permite uma maior liberdade e o controle do projeto. (OXMAN, 2006)

Para Kolarevic (2005, p.17) “modelos paramétricos são capazes de produzir fortes concepções formais, gerando amplas possibilidades, substituindo processos estáveis por variáveis e singularidade por multiplicidade”, neste caso são os parâmetros de um projeto que são determinados e não sua forma. Kolarevic (2005) explica que os processos paramétricos lidam com a complexidade da forma por meio de uma abordagem associativa e aplicação de lógica algorítmica. Com isso a técnica de representação está concentrada na elaboração de regras geradoras parametricamente definidas, para a formação de um modelo. Dessa maneira, o projetista interage com a forma através de um sistema generativo onde ele introduz a informação projetiva codificada e o sistema então produz a representação do modelo (fig.14).



Figura 14: Representação esquemática da interação entre o projetista e o sistema generativo.
Fonte: autor

O processo paramétrico de projeto é descrito por Kolarevic (2005) que explica que projetistas podem criar uma família de objetos, que são similares, mas, individualmente, diferentes, a partir de manifestações geométricas de um esquema previamente articulado de dimensões variáveis e dependências relacionais e operativas. Quando essas variáveis recebem valores específicos, instâncias em particular são criadas a partir de uma série infinita de possibilidades. O processo

paramétrico, como uma abordagem digital ao projeto, trabalha com o conceito de gerar a forma através de sua descrição geométrica, ou seja, o objeto final é resultado de um grupo de informações sobre uma determinada forma fornecida a um sistema.

Mitchell (2005) explica que nos programas digitais de representação gráfica, a quantidade de informação que pode ser adicionado é determinada por comandos predefinidos nesse sistema. Enquanto alguns programas possuem comandos para inserir portas, paredes, janelas, etc. outros permitem que o projetista modifique um comando existente ou mesmo crie um comando novo. Dessa maneira, um determinado projeto formal é o resultado da informação já codificada no sistema e da informação adicionada pelo projetista em resposta às condições exigidas por um determinado contexto. Mitchell (2005) denomina como conteúdo projetivo a quantidade de informação necessária para especificar uma determinada forma.

Nos programas CAD para representação (AutoCAD, DataCAD, Rhino 3D etc.), é possível utilizar algumas técnicas paramétricas. Nesses sistemas a quantidade de informações dada pelo projetista é pouca, pois ele está restrito ao repertório predefinido pelo sistema, o que significa que o conteúdo projetivo adicional é baixo; (MITCHELL, 2005) as regras são aplicadas a uma forma modelada através de técnicas convencionais, o que resulta em programas mais fáceis de usar, no entanto limitados em sua capacidade generativa (LOOMIS, 2010).

Uma interface totalmente paramétrica trabalha com a construção da forma por meio da modelagem geométrica, utilizando, para isso, linguagem de programação (scripting) através da qual as regras generativas, restrições e parâmetros são digitalmente introduzidos no sistema (LOOMIS, 2010); nesse caso o trabalho do projetista é bem maior, pois deve introduzir uma grande quantidade de conteúdo projetivo adicional (MITCHELL, 2005), entretanto o resultado é uma maior liberdade no domínio do modelo. Mitchell (2005) exemplifica esse conceito dizendo que um projetista que trabalha em uma abordagem tradicional, dentro dos limites já codificados no sistema, precisa acrescentar pouco conteúdo projetivo, enquanto isso, um projetista que busca explorar além dos limites predefinidos no

programa precisa trabalhar mais e ampliar o conteúdo projetivo e dessa maneira tornar o sistema personalizado.

Como destacado por Celani, Vaz e Puppo, o método tradicional de busca de soluções está baseado em situações de projeto conhecidas e na experiência de cada projetista, isso significa que “o número de possibilidades é limitado, pois não explora todo espaço de soluções” (CELANI, VAZ e PUPPO, 2013, p. 27). Por outro lado, um sistema generativo baseado na lógica, como pode ser classificado o desenho paramétrico (KNIGHT, 2011 apud CELANI, VAZ & PUPO, 2013) (tab.2), possibilita a produção de “múltiplas alternativas por meio da substituição sistemática de valores” (MONEDERO, 1997 apud CELANI, VAZ & PUPO, 2013, p.28) em que a determinação de limitações específicas pode ser estabelecida por um intervalo de valores desejáveis. Essa característica é apontada por Celani, Vaz e Puppo (2013) nos programas CAD Bentley Generative Components e Grasshopper em que o controle dos valores de um determinado parâmetro é possível através de barras de rolagem (number slider), que permitem que os dados numéricos sejam ajustados, manualmente, ao deslizar um indicador entre números mínimos e máximos (KHABAZI, 2010).

1.3.1 Arquiteturas paramétricas

Para Meredith (2008), o uso de processos paramétricos, no campo da arquitetura, ainda é bastante superficial, o autor acredita que os exemplos de ‘obras paramétricas’ produzidas, atualmente, encaixam-se em uma evolução pós-modernista, preocupada em ser diferente e carregada de complexidade visual, mas que representam muito pouco à complexa gama de inter-relações responsáveis por produzir arquitetura.

Segundo Meredith (2008) o potencial criativo que é promovido pelo desenho paramétrico está baseado na ideia de lidar com processos diversos e transformações tipológicas definidas por questões funcionais, pelo ambiente ou pelo trabalho colaborativo. Woodburry (2010) destaca que o desenho paramétrico depende da definição das relações associativas entre os fatores determinantes do

projeto e da vontade e habilidade do projetista em considerar a fase de descrição dessas relações como parte integral do processo de projeto.

Schumacher (2008) propõe o parametricismo como um estilo que está inserido firmemente no campo da arquitetura vanguardista, caracterizado pela sistematização, variação adaptativa, diferenciação contínua e dinâmica, possível através do desenvolvimento de ferramentas paramétricas e sequências de programação (scripts), que tornam possível a elaboração e execução precisas de correlações intrincadas entre elementos e sistemas. “A noção de complexidade organizada une a arquitetura parametricista com os sistemas naturais, em que a forma resulta da interação regrada entre as forças” (SCHUMACHER, 2008, p.1).

De acordo com Mitchel (2005,) é a ação recíproca entre informação e matéria que possibilita a emergência de novas possibilidades formais. Mitchell cita a cobertura do pátio de British Museum (2000) (fig.15), em Londres, projetada por Norman Foster, como um exemplo dessa relação. A estrutura metálica com fechamento em vidro faz a união entre o entorno retangular e a sala de leitura central de formato circular, nesse caso a definição geométrica é dada em duas partes: primeira, a superfície curva, que teve sua forma determinada pelos pontos de apoio do entorno e, a segunda, a geração do padrão das peças metálicas dado por uma subdivisão triangular por suas propriedades estruturais e para evitar painéis quadriláteros planos ou o uso de vidro curvo, sendo assim cada triângulo de vidro é diferente, exceto por sua versão espelhada no lado oposto da cobertura (BURRY e BURRY, 2011).

Nesse caso, a conexão dos membros metálicos é padronizada, mas seus comprimentos, ângulos de união e as dimensões dos painéis de vidro são diferentes, sendo assim a malha estrutural e o sistema de fechamento são topologicamente uniformes, mas geometricamente variados. As variações são controladas por fórmulas simples e poucos parâmetros e as peças fabricadas por controle numérico computadorizado (CNC), isso permite obter uma geometria não repetitiva, no entanto com um nível relativamente baixo de complexidade (MITCHELL, 2005).



Figura 15: Cobertura do pátio do British Museum, 2000, Foster + Partners.
Fonte: Architizer <<http://architizer.com/projects/great-court-at-the-british-museum/>>

Mitchell (2005) explica que construções de grande escala em que tanto as partes como o todo podem ser classificadas como não repetitivas, exigem o uso de métodos digitais de produção de peças, bem como tecnologia de precisão, para viabilizar seu posicionamento e instalação, dessa maneira combina a versatilidade, que só era presente no trabalho lento e oneroso do artesão, com a eficiência das técnicas de produção em massa.

Segundo Meredith (2008), o uso dos processos paramétricos, na arquitetura, pode ser caracterizado como formalista, especificamente preocupado com as relações entre as formas, mas, de acordo com o autor, esse formalismo é uma evolução no sentido em que a especificidade da aplicação de tais técnicas é mais importante que a representação da forma por si só.

No texto “Architectural Curvilinearity” (1993), Greg Lynn destaca que o campo da arquitetura, ao depara-se com um contexto formal caracterizado como complexo, desigual, diferenciado e heterogêneo, reagiu principalmente de duas formas: conflito e contradição ou unidade e reconstrução. Nesse texto o autor sugere que a alternativa é a busca pela “suavidade lisa” (smoothness) que envolve a

intensa integração entre diferenças dentro de um sistema contínuo, mas ao mesmo tempo heterogêneo. “É a mistura entre elementos conflitantes que mantém sua integridade, ao mesmo tempo em que são combinados dentro de um campo contínuo de outros elementos livres” (LYNN, 1993, p.24); Lynn complementa citando Deleuze que descreve o liso (smoothness) como “a contínua variação e o contínuo desenvolvimento da forma”. (LYNN, 1993, p.24)

Kolarevic (2005) explica que os processos projetivos digitais que permitem a transformação contínua e dinâmica da forma viabilizam a criação e manipulação de formas curvas complexas com a mesma facilidade que as geometrias Euclidianas. Isso torna possível que a busca pela variabilidade, como solução formal, possa ser alcançada tão facilmente quanto à modularidade. A base para isso, segundo Kolarevic (2005), é a noção de topologia; na arquitetura essa ideia permite que o foco mude: das formas de expressão para as relações que existem entre a situação e o programa. As interdependências criadas passam a formar os princípios estruturais e organizacionais para a geração e transformação da forma.

O projeto de Zaha Hadid, para a linha funicular de Nordpark em Innsbruck, construída no ano de 2007, exigia a criação de quatro estações de passageiros e uma ponte, ao longo do trajeto do trem. Para esse projeto, a adaptabilidade às condições específicas de cada local, como altitude, condições climáticas e de uso, deveria articular de maneira coerente com a arquitetura. Para isso foi projetada uma cobertura leve e orgânica, posicionada de maneira a parecer flutuando sobre uma base de concreto (HADID, 2007).

Para esse projeto o escritório de Hadid estudou os fenômenos como geleiras e os movimentos do gelo com objetivo de desenvolver uma linguagem fluida que remete aos rios congelados das montanhas. A cobertura contínua e homogênea sem juntas e fixações, possui contornos suaves de formas orgânicas e aparenta estar flutuando sobre uma base de concreto (HADID, 2007) (fig.16).



Figura 16: Estação Hungerburg de trem Nordpark, 2007, Zaha Hadid Architects.
 Fonte: Archidose <<http://archidose.blogspot.com.br/2008/01/half-dose-41-hungerbergbahn.html>>

A forma trabalhada permitia um alto grau de flexibilidade, o que possibilitou que as estruturas em casca se ajustassem aos variados parâmetros particulares de cada local. (HADID, 2007) Cada estação apresentava uma série de situações específicas, no entanto o objetivo era de criar uma família de linguagem formal claramente reconhecível (SCHUMACHER, 2005) (fig.17). Schumacher (2005) explica que no projeto é possível observar “a ideia de um genótipo e vários distintos fenótipos gerados a partir desse modelo paramétrico de casca.” (SCHUMACHER, 2005, p.9).

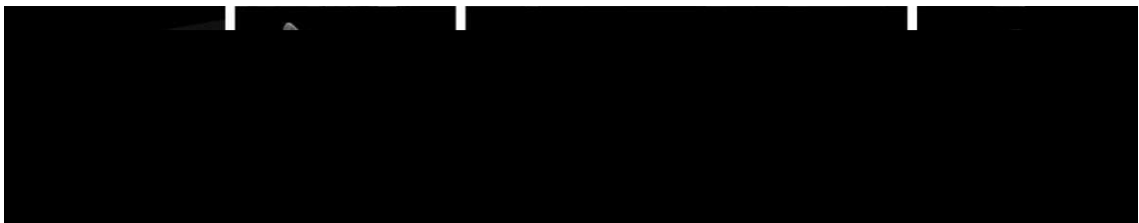


Figura 17: Projeto Funicular Nordpark, 2007, Zaha Hadid Architects: estação Congress, estação Loewenhaus, ponte e estação Alpengarten e estação Hungerburg.
 Fonte: Zaha Hadid Architect.

A solução de material escolhida foi o vidro, que permitia as qualidades ideais de superfície e de condições térmicas. Sobre uma estrutura metálica em formato de costela, a superfície duplamente curvada da cobertura é composta por placas de vidro individualmente modeladas e revestidas interiormente, (BOLLINGER, GROHMANN e TESSMANN, 2010) As juntas são preenchidas com 2000 metros de peças de poliuretano individualmente listadas, etiquetadas e entregues no local, de acordo com os passos de montagem (fig.18) As técnicas de fabricação dessa obra demonstram as possibilidades de transferência de situações de um projeto para outro, e, nesse caso, os processos de projetar, fabricar e construir precisaram estar estritamente integrados (MEREDITH, 2008).

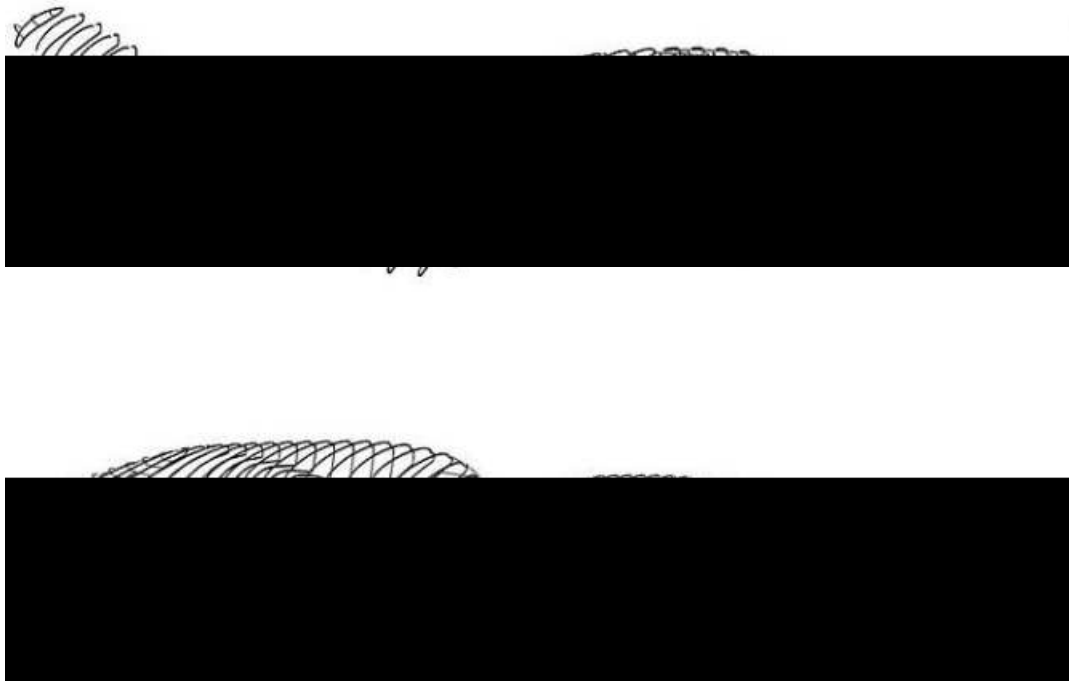


Figura 18: Justas de poliuretano para quatro estações de trem Nordpark.

Fonte: MEREDITH, 2008

Meredith (2008) explica que o jogo formal de hoje está empenhado em encontrar um propósito que vai além de experimentos estéticos por si só. No entanto, sem regras claras para esse jogo, a vontade pelo significado da forma tem sido apático, sem sentido fora do campo da arquitetura. Para Meredith a arquitetura deve focar no desempenho ao invés da forma; desempenho estrutural, ambiental, econômico, programático, contextual e em vários outros campos formais. “É

necessário que as distorções formais tenham um propósito ou relevância cultural e não se sustentem sozinhas como jogos ou algoritmos” (MEREDITH, 2008, p.7).

A estrutura que imita bolhas de sabão, projetadas para o prédio do Centro Aquático de Pequim ou “Cubo d’Água” (2008) (fig.19), representa uma solução de projeto em que os elementos construtivos, apesar de darem a ideia de aleatoriedade, são altamente racionais e, com isso, economicamente viáveis (WEINSTOCK, 2006). O projeto do escritório PTW Architects, realizado em conjunto com Arup, buscou uma estrutura leve que conseguisse vencer um grande vão; a resposta foi alcançada através do uso de uma estrutura treliçada baseada no modelo matemático de arranjo celular de Weaire-Phelan que deu origem às estruturas horizontais e verticais do edifício. O revestimento em etileno-tetrafluoretileno (ETFE), com um por cento do peso do vidro, eliminou a necessidade de uma estrutura secundária. (BURRY e BURRY, 2011).

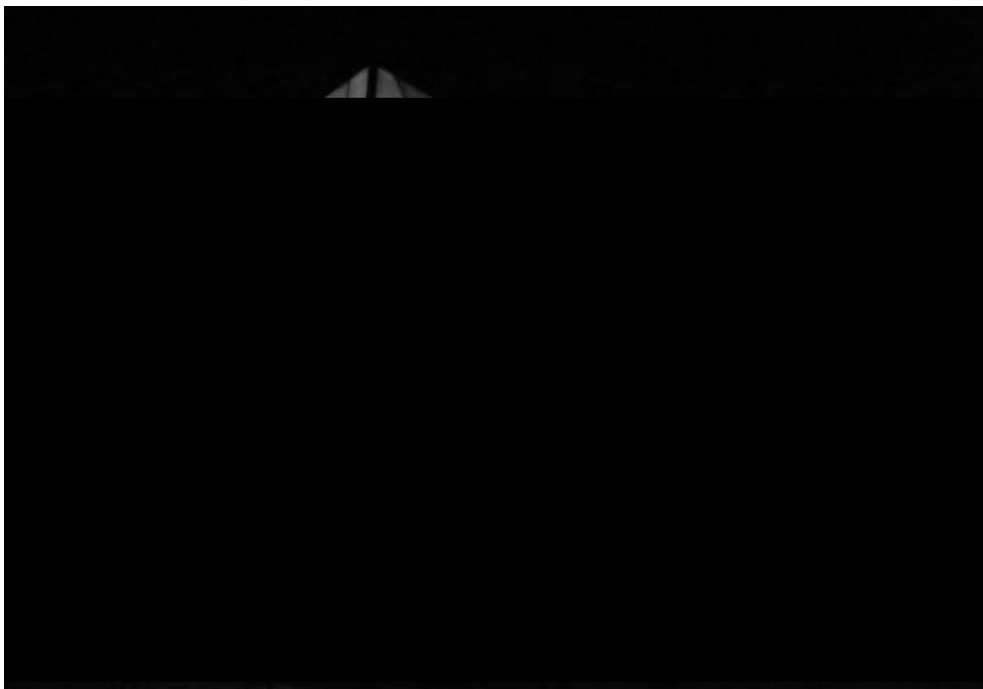


Figura 19: “Cubo d’Água”, Centro Aquático Nacional de Pequim, 2008, PTW Architects.
Fonte: < <http://www.china.org.cn> >

Os tubos e conexões de aço soldados variam de acordo com os esforços sofridos pela estrutura do prédio, que alcança 177 metros em cada lado e 30 metros de altura. A rede tubular é composta de 22.000 membros e 12.000 conexões que possuem alto grau de variação (fig.20). A geometria foi desenvolvida por uma

extensiva sequência de programação que possibilitou lidar com milhares de dezenas de elementos estruturais em alguns minutos. Outras sequências de programação também foram criadas para o desenvolvimento de modelos de análise e para a geração automática de desenhos (WEINSTOCK, 2006).



Figura 20: Estrutura das paredes e teto do Cubo d'Água.

FONTE: Arup < http://www.arup.com/projects/chinese_national_aquatics_center.aspx>

O revestimento em ETFE (fig.21) consiste em mais de 4.000 “bolhas” com 7 variações para o teto e 16 variações para as paredes reproduzidas ao longo do prédio (WEINSTOCK, 2006). As bolhas confeccionadas com folhas duplas, como bolsas de ar, fazem com que o calor fique confinado no interior do prédio, como uma estufa, o que minimiza o uso de energia no aquecimento das piscinas. As bolsas de ETFE são também equipadas com células fotovoltaicas que coletam cerca de 20 por cento da energia solar que atinge a superfície (BURRY e BURRY, 2011).

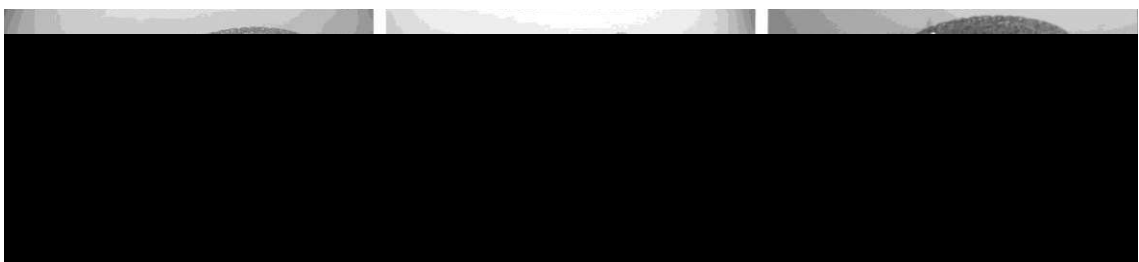


Figura 21: Instalação do revestimento de ETFE.

Fonte: China Daily

Para Schumacher (2008), o parametricismo encontra-se, hoje, em um estágio avançado, resultado tanto do contínuo desenvolvimento tecnológico como de projetistas que compreendem as oportunidades formais e organizacionais únicas que podem ser alcançadas através de sofisticadas técnicas de desenho paramétrico.

O AGU, Advanced Geometry Unit, fundado no ano 2000 como parte do escritório Arup, é um grupo multidisciplinar de arquitetos, engenheiros e cientistas que trabalham na pesquisa de estruturas geométricas complexas que dão apoio a novas visões e soluções arquitetônicas. O objetivo do grupo é lidar com o projeto através de uma visão holística, que aceita os desafios da complexidade e lida com a forma não somente como um o desenho de uma edificação, mas como um plano diretor, uma estrutura ou uma escultura. (MEREDITH, 2008)

Greg Lynn (1999) explica que as ferramentas comuns para arquitetos, como esquadros e compassos, baseiam-se na álgebra simples, enquanto o mais básico programa CAD lida com superfícies topológicas e programas de animação que tem habilidades de lidar com parâmetros de tempo e força. Essas condições representam a primeira oportunidade para arquitetos trabalharem com cálculo como base para o desenho. Nesse sentido, o autor ressalta que o desafio para arquitetura contemporânea está em entender essas ferramentas como mais do que simples meio para obter novas formas. Lynn chama o processo que representa a participação entre movimento e força no momento da composição formal de “Forma Animada” (“Animate Form”) (LYNN, 1999), que se baseia em três propriedades fundamentais do desenho computacional: topologia, tempo e parâmetros.

A topologia é definida por cálculo, composta por um contínuo fluxo de valores relativos responsáveis pela multiplicidade da forma, caracterizada por superfícies flexíveis compostas de splines (fig.22) que, ao contrário de linhas, são vetores definidos por direção em que pontos de controle funcionam como pesos localizados nas coordenadas espaciais x, y e z (LYNN, 1999). Na modelagem geométrica, curvas splines consistem de vários segmentos de curva, que concordam de maneira contínua; assim, alterações nos pontos de controle transformam a curva que é automaticamente gerada por meio de algoritmos geométricos (POTTSMANN, 2007). A descrição formal de liberdade de modelos topológicos, possíveis através da representação gráfica computacional com origens na indústria automotiva, significou a possibilidade de representar modelos verdadeiramente dinâmicos, que demonstram a relação entre forças externas, forma e organização, que imitam o desdobramento de sistemas naturais e sociais (BURRY e BURRY, 2011).

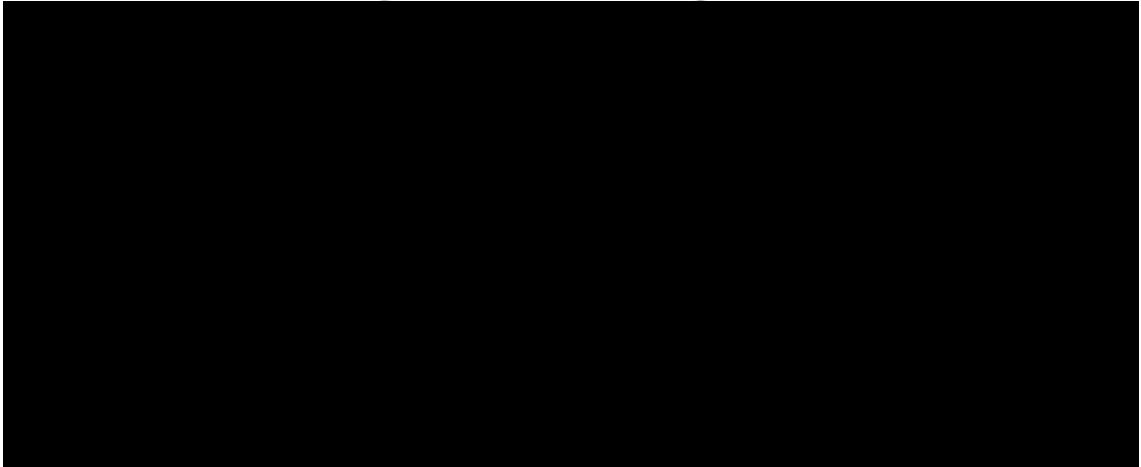


Figura 22: Spline definida por pontos de controle.
Fonte: LYNN, 1999

Na prática, a compreensão das relações topológicas possibilitou a modelagem de superfícies que poderiam ser modificadas, esticadas, trabalhadas de forma livre ou racional, sem que perdessem sua integridade. “No passado, tais superfícies eram representadas em gesso como momentos congelados, agora elas permanecem vivas como parte de um espaço contínuo de mudança” (BURRY e BURRY, 2011). Objetos topologicamente orientados baseiam-se em vetores, isso torna possível incorporar, sistematicamente, fatores de tempo e movimento em sua forma através de concordância geométrica.

A noção de tempo na curva é dada pela animação numérica de imagens em tempo infinito. Programas computacionais representam o movimento e o tempo através de instâncias de imagens estáticas, com intervalos que podem ser infinitamente curtos e que representam uma transição suave entre um ponto inicial e um ponto final (keyframing) (fig.23). Nesse processo, a forma é obtida por meio de transformações lineares ou pode envolver interações dinâmicas não lineares. (LYNN, 1999).

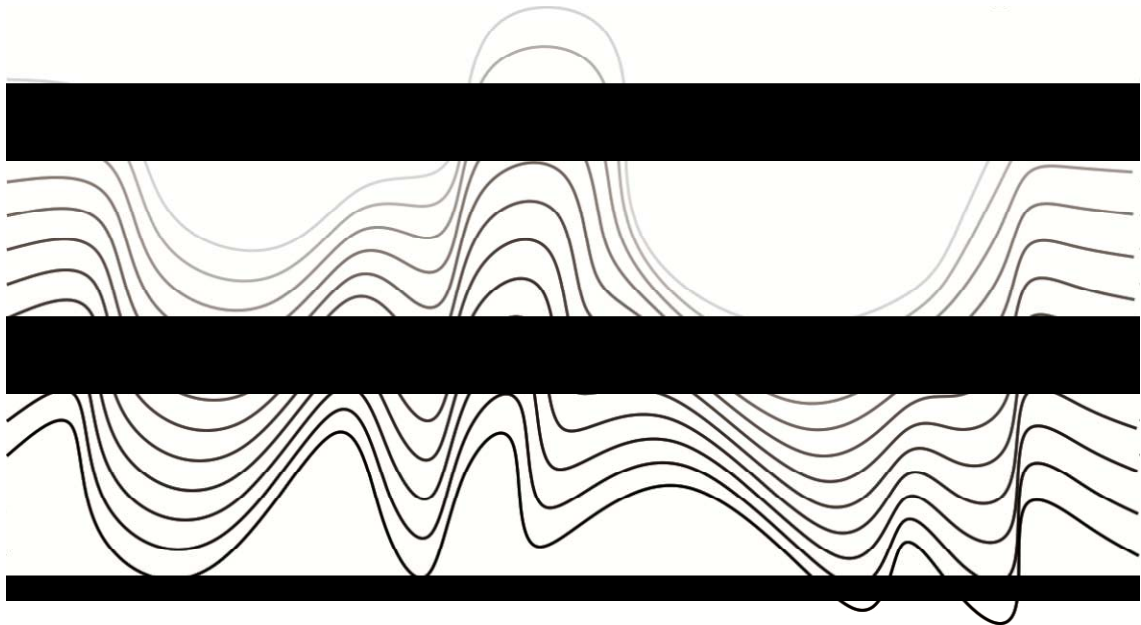


Figura 23: Representação da interação geométrica entre duas curvas com dez instâncias intermediárias.
Fonte: autor

As formas geradas através de processos computacionais de desenho são o resultado de decisões feitas com base em parâmetros. Em um ambiente virtual de projeto, é possível determinar numericamente as propriedades paramétricas que descrevem as características físicas do espaço, como temperatura ou gravidade; consequentemente, essas propriedades podem ser instanciadas e dinamicamente conectadas através de expressões matemáticas para alterar a forma de um objeto. O controle de parâmetros gradativos associados a campos de forças, como atração densidade ou partícula, afeta o objeto como campos de força numéricos ao invés de transformações geométricas. A curvilinearidade, que resulta de múltiplos parâmetros, é a ordenação de um sistema dinâmico com diferentes fatores de influência e sua aplicação no projeto arquitetônico envolve um relacionamento não dialético entre a matéria e a informação; forma e tempo e organização e força (LYNN, 1999).

A Embryological House (1999) (fig. 24), de Greg Lynn, é um projeto conceitual desenvolvido através da interação entre programas de modelagem e animação que serve como referência entre os primeiros trabalhos que desenvolveram uma teoria sobre arquiteturas criadas digitalmente (SHUBERT, 2008)

e que representa a pesquisa de Lynn sobre a “Forma Animada”. O princípio foi de criar uma linha de casas únicas a partir de uma forma base, ou “primitiva”, de maneira que cada casa fosse produto do mesmo projeto, no entanto diferentes uma da outra. A tarefa de Projetar a primeira casa ou várias é realizada ao mesmo tempo e sem que haja um número de variações (RAPPOLT, 2008).



Figura 24: Modelo em escala de um terço para Embryological House, exposição na Bienal de Veneza, 2000, Greg Lynn.
Fonte: RAPPOLT, 2008

O volume definido por uma superfície de curvas suaves e flexíveis é o resultado de um processo de geração, através de etapas de transformação que parte de uma spline circular definida por doze pontos de controle (fig.25). A forma primitiva foi trabalhada em um plano e serviu como geradora para o volume. O elemento básico foi, então, esticado, cavidades foram criadas por inflexões convexas; assim, alguns pontos foram explodidos para produzir controles de pontos múltiplos para criar protuberâncias (RAPPOLT, 2008).

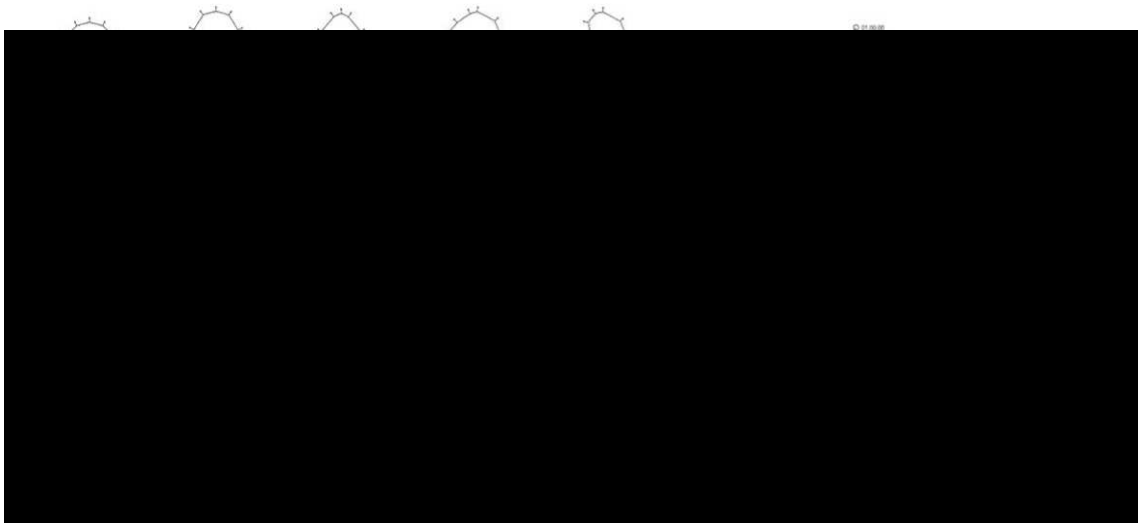


Figura 25: Projeto das curvas spline primitivas para planos e seções da Embrylogical House, com a definição paramétrica dos pontos de controle.
Fonte: RAPPOLT, 2008.

Na etapa seguinte, curvas selecionadas foram alinhadas ao longo de um eixo orientado pelo primeiro e sexto ponto e rotacionada doze vezes ao redor desse eixo e, assim, uma superfície de translação (loft) foi gerada, unindo cada uma das curvas (fig. 26). Algumas combinações de curvas produziram volumes que não tinham dobras na superfície, enquanto outras combinações produziram superfícies que se auto interseccionavam. A definição das combinações de curvas compatíveis, que gerassem um volume esferoidal fechado, deu origem a mais de cinquenta mil modelos de casa. (RAPPOLT, 2008).

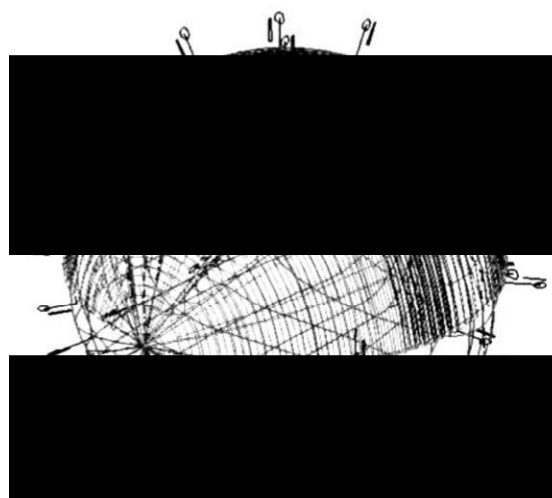


Figura 26: Modelo de translação da primitiva com pontos de controle de deformação.
Fonte SHUBERT, 2008)

Em qualquer estágio do desenvolvimento desse projeto, a obra existe como inúmeras interações, em que cada instância é considerada como parte integral da casa como um todo. Essas interações podem ser consideradas pais ou filhos umas das outras, no sentido de que elas originam-se uma da outra e, ao mesmo tempo, todas se originam de uma forma primitiva básica (fig.27) (SCHUBERT, 2008). As definições paramétricas com base em princípios topológicos e mutações de controle temporal aplicadas a um modelo de geração permitem, portanto, infinitas variações dentro de uma família de descendentes reconhecíveis que resultam de um mesmo modelo gerador.

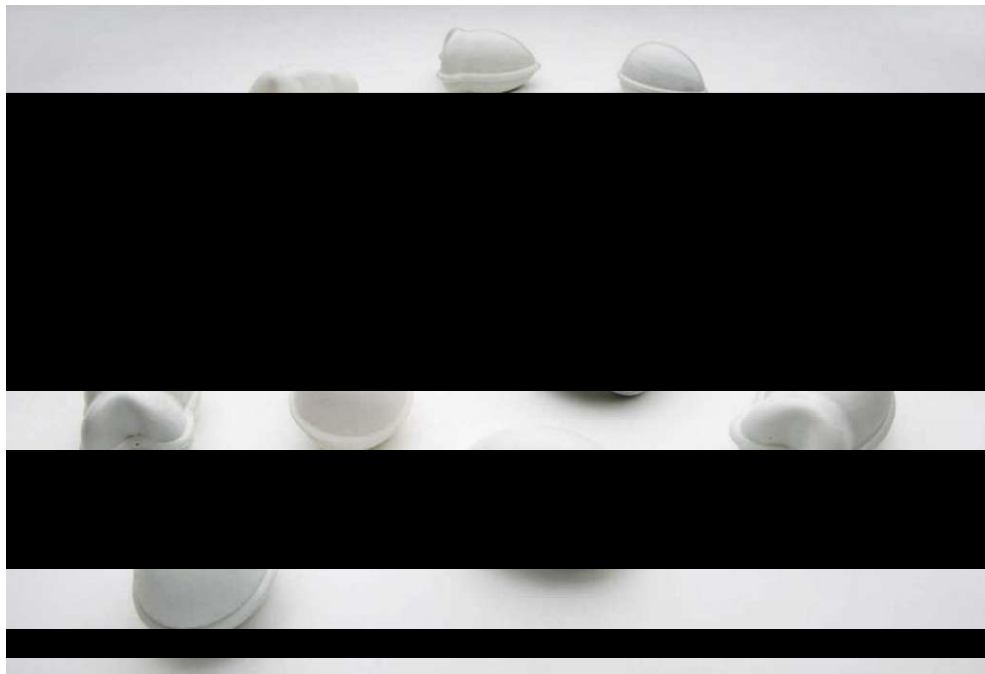


Figura 27: Maquetes de variações da Embryological House.
 Fonte: <<http://www.cca.qc.ca/en/collection/6-greg-lynn-embryological-house>>

Meredith (2008, p. 9) diz especificamente que “sim, o futuro é paramétrico, não há dúvidas disso”, mas novos processos digitais de projeto somente podem ser significativos se tiverem um envolvimento sociocultural. A arquitetura paramétrica busca, ao mesmo tempo, a organização da informação e a complexidade visual em que a forma deve ser uma “arena de jogo entre vetores concorrentes que competem inseridas em um campo de forças culturais” (MEREDITH, 2008, p.7).

1.4 Formação do arquiteto na Era Digital

De acordo com Oxman (2008), a exploração das possibilidades oferecidas pelas mídias digitais, no processo de projeto, já faz parte do repertório do estudante de arquitetura e urbanismo. No entanto, a autora registra a preocupação com o fato de que as metodologias de ensino de projeto ainda são as mesmas utilizadas no processo analógico de desenho no papel. Por isso as ferramentas digitais configuram, nesse contexto, como um simples substituto do gesto manual e conferem ao processo de projeto maior rapidez e maior precisão, para atender às necessidades de um modelo tradicional que limitam seu uso às funções de representação. Oxman (2008) destaca que a pesquisa deve estar direcionada para o desenvolvimento de novos métodos em que as mídias digitais permitem acionar dispositivos que intensificam o diálogo entre as ideias e suas representações.

O processo de projeto tradicional, como descrito por Rowe (1987) e Schön (1983), está centrado no projetista e caracteriza-se por episódios de conversa com a situação pelo movimento entre áreas de interesse, pelos períodos de livre especulação seguidos de episódios estáveis e contemplativos, durante os quais o projetista avalia os problemas de projeto. Para Schön (1983), o diálogo entre o projetista e a situação fica evidente ao observar que cada princípio organizacional envolvido em cada episódio ganha vida própria, à medida que o projetista se envolve na exploração de possibilidades. Schön (1983) explica que os episódios, geralmente, tornam-se muito especulativos, o que resulta em certa quantidade de retrocessos no processo de projeto.

Para Oxman (2009), os processos arquitetônicos que buscam uma relação mais próxima entre o projeto e as mídias digitais devem centrar o foco para o conhecimento e para o procedimento reflexivo de projetar. Fischer e Herr (2001) associam-se ao que disse Oxman (2009) e acrescentam que os processos generativos digitais lidam com a técnica e estão direcionados ao processo de geração, ao invés do produto final produzido; com isso, o ensino de tais abordagens exige do estudante um repertório mais amplo ao invés de mais profundo, mais voltado para interdisciplinaridade e que permita que este estudante direcione seu

aprendizado ao elaborar suas próprias ferramentas de projeto. Para a Oxman (2006), a demanda por um novo modelo pedagógico de projeto deve responder às condições em que os conceitos que envolvem uma abordagem digital sejam integrados como um campo de conhecimento particular. Para Oxman (2006) esse campo consiste na relação entre um conhecimento arquitetônico digital e habilidades projetivas digitais.

1.4.1 Ensino de projeto focado no conhecimento

Segundo Oxman (1999), a abordagem no campo do ensino e aprendizagem de projeto está bastante fundamentada na experiência de escritório. Dentro deste enfoque, a autora identifica alguns padrões tais como: a definição do problema, a simulação do ambiente profissional, o processo por meio de etapas bem definidas, a relação orientador/aluno com base em documentos de projeto e o sistema de júri, como uma forma de avaliação do produto final.

Esses padrões, fundamentados na experiência de escritório, são considerados para Oxman (1999) como base da metodologia educacional de projeto. No entanto a autora destaca que nessa abordagem, o foco está voltado para a representação ao invés da compreensão de princípios metodológicos do projeto. Para Oxman (1999) e Lawson (2005) isso demonstra o ponto fraco do modelo tradicional do ensino de projeto em que a avaliação é baseada no produto final e não na quantificação do incremento de conhecimento adquirido como resultado da disciplina de projeto. Neste contexto, Lawson (2005) adverte que “se não tivermos cuidado, o ensino de projeto pode limitar, ao invés de ampliar a habilidade do estudante de pensar criativamente” (LAWSON, 2005).

Schön (1983) caracteriza o estúdio como um ambiente para o desenvolvimento de projeto baseado na conversa entre o aluno e o orientador sobre esboços e esquemas. A discussão sobre as possibilidades projetivas segue um processo de reflexão, onde o professor propõe soluções num padrão “se... então”, referindo-se às consequências provenientes de uma sequência de ações prévias. Schön (1983) explica que a gama de possibilidades, apresentada pelo professor se expande de tal maneira que em certo ponto é necessário parar de inferir “e se...?” e

tomar uma decisão que, conseqüentemente, condiciona as ações futuras. O resultado é um processo de “reflexão-em-ação” (SCHÖN, 1983), onde o projetista atua sobre o projeto com base nas considerações sobre as conseqüências de suas decisões.

Os estudos de Schön (1983) demonstram que o processo projetual lida com a alternância entre campos de conhecimentos que o projeto envolve e com o nível de importância que cada situação demanda. Schön (1983) explica que como conseqüência disso o projetista pode focar menos em uma área e mais em outra, em resposta às implicações que um determinado modelo construtivo demanda. Schön (1983, p.103) conclui que “isso resulta em uma situação de complexidade e incerteza que exige a imposição de uma ordem na resolução do problema”; como resultado, as ações decisivas durante o percurso do projeto são tratadas como “imposições e seus resultados vagamente aparentes nos estágios iniciais do processo” (SCHÖN, 1983, p.103).

Segundo Oxman (1999), as reflexões de Schön (1983) apresentam duas alterações no modelo tradicional de ensino de projeto. A primeira é que a dialética consiste na interação com o conteúdo do problema, isso é feito por meio de desenhos conceituais e esboços, que introduz uma orientação cognitiva na reflexão sobre o projeto. A segunda trata da distinção entre os métodos de interação de raciocínio visual e concepção projetiva. A relação orientador/aluno torna-se mais um processo participativo em que a articulação dos princípios, durante o processo dialético, passa a ser responsabilidade do professor.

Os processos cognitivos de projeto, no entanto, geralmente relacionados ao ato de projetar no papel enfatizam a interação do projetista com a representação do problema e caracterizam o projeto como um processo de recepção (percepção), reflexão (interpretação) e reação (transformação) (OXMAN, 2008). O trabalho de Schön (1983) e outros contribuíram para promover a compreensão que o raciocínio projetivo é um assunto de grande importância e que o projeto é caracterizado pelo raciocínio visual. A ligação entre o raciocínio visual e o processo de concepção é a base do atual estudo cognitivo no projeto. Apesar destas mudanças teóricas sobre o

ensino de projeto, o foco ainda permanece na representação do objeto projetivo ao invés de uma articulação do conhecimento (OXMAN, 1999).

1.4.2 Ensino de informática nas escolas de arquitetura no Brasil

Conforme destaca Celani (2007), com a Portaria MEC 1.770/94, pela primeira vez, tornava-se obrigatório o ensino de informática nas escolas de arquitetura e urbanismo. Para Celani (2007), o que aconteceu na implantação da informática foi que, na maioria dos casos, os cursos simplesmente passaram a ensinar os alunos a usar um programa CAD, sem incluir uma visão crítica sobre as ferramentas disponíveis. Naquele momento, profissionais que já utilizavam computação em seus escritórios foram convidados a exercer função de professores “levando para as salas de aula experiências demasiadamente específicas, ainda que válidas no ‘mundo real’” (CELANI, 2007, p.2).

Celani (2007) avalia que o risco desta abordagem estava em transformar a nova disciplina em treinamento, para formar mão de obra barata para os novos escritórios informatizados. Considerando que a maneira de evitar isso seria investindo em pesquisas na área. Nessa direção, apontou para o Laboratório de Computação Gráfica Aplicado à Arquitetura e ao Desenho (LCAD) da Universidade Federal da Bahia, implantado em 1992, pelo professor Ariovaldo Leão Amorim. Este laboratório promoveu o primeiro “Seminário Nacional: A Informática no Ensino de Arquitetura”, em 1995. Foi a partir desses encontros, e de outros que seguiram, que muitas das discussões sobre o conteúdo das disciplinas de informática para arquitetura no Brasil.

1.4.3 Um novo currículo para o projeto digital

Em 2001, uma mesa redonda, organizada durante o eCAADe 2001 (International Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe) (MARK, et al, 2002), discutiu como deveria ser a implantação de tecnologias computacionais em um currículo de escolas de arquitetura e urbanismo. Os participantes dessa discussão apresentaram a ideia de que um currículo ideal poderia ser aquele que conecta a computação à organização

atual dos cursos. Ao contrário do modelo atual, em que as disciplinas de informática atuam separadamente como auxílio ao projeto, o currículo ideal proposto considera que a participação de mídias digitais deve ser desenvolvida mais progressivamente como parte das disciplinas existentes; assim, as disciplinas de projeto devem funcionar como catalisadoras, para que haja uma mudança de perspectiva nesse sentido.

De acordo com Fischer e Herr (2001) hoje, um novo vocabulário de projeto está relacionado com os conhecimentos e a prática de uma arquitetura digital. Porém, por ser um campo novo e complexo, é extremamente negligenciado no âmbito de ensino de graduação em arquitetura. Na mesa redonda do eCAADe de 2001 (MARK, et al, 2002) destacou-se que uma mudança pode estar ocorrendo, já que um maior número de professores possui a habilidade de atrelar a tecnologia computacional ao projeto. Entretanto, não está claro se a estrutura básica do programa de educação do design deve, fundamentalmente, mudar com objetivo de atender às novas oportunidades e às mudanças de perspectiva oferecidas pela tecnologia computacional.

Oxman (1999) explica que As propriedades cognitivas do aprendizado em projeto nunca foram parte do ensino de projeto; como consequência, existe, hoje, uma falta de teorias de aprendizagem que funcionem como suporte para a educação de projeto. Para Fischer e Herr (2001) a causa disso não é só o envolvimento interdisciplinar de trabalhos de projeto generativo. Muito pouco tem sido feito para desenvolver metodologias, materiais e currículos para o ensino de um projeto generativo e para esclarecer terminologias e técnicas para o ensino.

No artigo *“Teching Generative Design”*, Fisher e Herr (2001) indicam duas razões para a falta de ensino de projetos generativos; a primeira é que existe muito pouco material de introdução ao tema e, a segunda é que a terminologia ainda é baseada em noções muito vagas. De acordo com os autores, o uso de meios generativos ao projeto não é explicado claramente, mas ilustrado pelo uso de paradigmas da programação como base, geralmente obscuros para leigos e novatos. Esse modelo pode ser proveitoso no ensino de projeto com objetivo de desafiar e inspirar os alunos, no entanto, quando a questão é discutir métodos de

inserção no contexto educacional, torna-se necessário haver termos e conceitos claramente expostos.

Oxman (2008) analisa que no sentido de introduzir processos generativos digitais, no âmbito do ensino e aprendizagem de projeto e nos cursos de arquitetura e urbanismo, como um todo, é possível verificar que o investimento inicial aconteceu na pós-graduação e em cursos de extensão. Entretanto, os avanços em pesquisas, no sentido de sistematizar e validar os processos generativos como uma nova metodologia para o projeto, em geral, demonstram que esta área vem ganhando espaço no âmbito da graduação.

Uma avaliação feita com base nos artigos sobre ensino e aprendizado de sistemas generativos publicados nos anais do Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital - SiGraDi 2012 (tab.4) as abordagens ao ensino de tais técnicas divide-se em ações de sala de aula e oficinas. De acordo com os artigos analisados é possível identificar um movimento no sentido de abordar o tema da arquitetura digital em disciplinas de graduação, principalmente aquelas ligadas à geometria.

Nos trabalhos apresentados no SiGraDi 2012, a maioria das ações aconteceu em formato de atividades de sala de aula, aplicadas em acordo com as áreas de conhecimento das disciplinas em que ocorreram. A identificação das áreas de conhecimento nessa análise verificou que o conteúdo, que é trabalhado nessas atividades didáticas, transita em vários campos de conhecimento sendo alguns mais próximos dos temas relacionados ao processo generativo como fabricação digital, programação, modelagem digital, gerenciamento de informações; outros relacionados a áreas de base para o projeto como geometria, metodologia de projeto, projeto e paisagismo; e outros relacionados a áreas complementares como história, sustentabilidade e confronto ambiental.

2. Metodologia

A etapa de revisão bibliográfica, apresentada anteriormente, permitiu compreender a importância de uso das ferramentas de desenho paramétrico para um contexto de Arquitetura, sob o ponto de vista teórico, técnico e pedagógico. A partir da construção deste referencial o estudo ficou caracterizado fundamentalmente por duas etapas de trabalho: a de reconhecimento das ferramentas de desenho paramétrico e a de desenho e experimentação das atividades didáticas de introdução ao desenho paramétrico.

2.1 Reconhecimento de ferramentas para o desenho paramétrico

Nesta etapa de preparação dos experimentos, o estudo esteve concentrado no reconhecimento de tecnologias adequadas, para o desenvolvimento de tais processos e na apropriação de técnicas computacionais para a exploração de processos generativos digitais por meio do desenho paramétrico.

Entre as ferramentas disponíveis no mercado que trabalham como editores de algoritmos generativos destacam-se duas: o Grasshopper (GH) e o Generative Components (GC). O Grasshopper (www.grasshopper3d.com), criado por David Rutten para o escritório de arquitetura Robert McNeel & Associates, funciona como um aplicativo do programa Rhinoceros 3D (McNeel). O Generative Components (GC), produzido pela Bentley Systems, funciona como uma plataforma autônoma (www.bentley.com).

Apesar de ambos os programas trabalharem com linguagem de programação (scripting / coding) tanto escrita como visual, (visual scripting) a maior diferença está basicamente no processo de descrição dos dados introduzidos no sistema. No Generative Components, o código é principalmente escrito em linguagem de programação, que proporcionando uma abordagem mais ampla para

inserir informações no sistema. No Grasshopper a inserção de informação favorece o processo de linguagem de programação visual onde o código não é necessariamente escrito, mas feito pela combinação de componentes e elementos que representam as regras generativas em formato visual de uma maneira mais prática e inteligível.

Com base na observação das opiniões de usuários das duas interfaces coletadas em fóruns de discussão, nos sites dos desenvolvedores (BENTLEY, 2012; GRASSHOPPER, 2012), foi possível perceber que a escolha entre um programa ou outro está baseada em dois fatores: a finalidade na utilização e a habilidade operacional. O GC é visto como uma ferramenta mais completa e mais potente no desenvolvimento de formas complexas o que, apesar de dar mais liberdade ao projetista, exige muito mais de suas habilidades de programação. No caso do GH a interface é mais amigável, o que auxilia numa abordagem mais intuitiva ao programa

Tanto o GC como o GH são programas distribuídos gratuitamente por seus desenvolvedores, pois ambos ainda estão em fase de teste. O GH possui, em seu sitio virtual, galerias e grupos de discussões com interação de usuários e desenvolvedores constantemente discutindo problemas e melhorias no software, além de distribuir um grande volume de bibliografia instrutiva. Da mesma maneira, os desenvolvedores do GC promovem o Smart Geometry, um encontro anual que proporciona um ambiente para exploração de novos desafios de projeto e onde podem também discutir a ferramenta com seus usuários.

Entre as duas ferramentas apresentadas, a plataforma escolhida para ser desenvolvida durante este estudo foi o Grasshopper por dois motivos principais. De certa maneira o GH já ganhou notoriedade no campo dos exploradores do desenho paramétrico e daqueles que buscam novas tecnologias para o projeto. Um dos motivos para isso é que o aplicativo faz parte do programa Rhinoceros 3D (Rhino), que já é bastante conhecido no campo da modelagem gráfica (KHABAZI, 2011). No entanto, o motivo principal para sua escolha dá-se pela dinamicidade e alto grau de interatividade proporcionado pela interface de definição por linguagem de programação visual.

2.2 Experimentos didáticos

Os experimentos didáticos, trabalhados ao longo dessa pesquisa, tiveram como objetivo a análise dos aspectos pedagógicos que envolvem a inserção de conceitos relacionados ao uso de sistemas generativos para o projeto. Essa investigação teve como foco o estudo dos fatores que abrangem a introdução aos processos digitais de geração e exploração da forma através do desenho paramétrico. O desenvolvimento da pesquisa concentrou-se no desenho de atividades didáticas que tivessem como propósito apresentar princípios e técnicas fundamentais para estabelecer a prática do desenho paramétrico dentro do contexto acadêmico de arquitetura e urbanismo.

Com objetivo comum de apresentar os princípios fundamentais e métodos processuais que envolvem um processo de geração e exploração formal, com base na prática de desenho paramétrico, foram elaborados dois tipos de material didático, aplicados a dois tipos de contextos distintos: atividades de sala de aula para alunos em fase inicial de formação (Atividade 01) e oficinas para profissionais e estudantes com diferentes níveis de formação (Atividade 02). Foram registrados, ao todo, quatro experimentos, dois para atividades como sala de aula e dois como oficina de extensão.

Estes exercícios concentraram-se em operações e conceitos básicos de apresentação do desenho paramétrico, inserido em um contexto de ensino de geometria e de prática projetual. As abordagens didáticas tiveram como finalidade observar, através da participação e da produção dos alunos, a compreensão das características implícitas e explícitas do desenho paramétrico, bem como analisar os conhecimentos prévios e os conceitos básicos necessários para trabalhar com processos de projeto desse tipo.

2.2.1 Atividade 01: Exercícios de sala de aula

Essa parte do estudo concentrou-se na investigação de técnicas digitais que possibilitem uma análise do ensino e aprendizagem, não só de sistemas generativos digitais para o projeto, como da aquisição de conhecimentos específicos que

de GGD, que tem como objetivo o desenvolvimento do raciocínio espacial, promovendo a integração entre a representação gráfica digital e o projeto (BORDA, et al. 2012).

GGD III - DETALHAMENTO DAS UNIDADES DE ESTUDO
Arquitetura
1.2. Revisão dos sistemas de classificação dos entes geométricos e dos elementos que configuram
2.2. Práticas com a representação das curvas espaciais por técnicas tradicionais de
3.1. Reconhecimento dos elementos principais, determinação de pontos da superfície, estudo de
4.2. Interseção e concordância de superfícies em obras de arquitetura.

Figura 29: Conteúdo da disciplina de GGDIII da FAUrb / UFPel. Fonte: <http://faurb.ufpel.edu.br/>

O currículo de GGDIII abrange o estudo das curvas e das superfícies curvas no espaço tridimensional, além de formas quádras e a intersecção e concordância de superfícies (fig.29). O uso de processos de representação gráfica digital está agregado ao estudo de geometria, através do uso de modelagem tridimensional, como meio de análise das formas encontradas em exemplos concretos de obras

arquitetônicas, o que contextualiza a disciplina dentro do campo da arquitetura e proporciona maior aproximação entre essas áreas de conhecimento e o processo projetual (PIRES, et al. 2011).

2.2.1.2. Descrição da atividade

Os experimentos realizados em sala de aula tiveram como objetivo apresentar para alunos, em fase inicial de formação, uma introdução ao desenho paramétrico de maneira contextualizada dentro do conteúdo da disciplina. Os exercícios foram elaborados no formato já organizado pela disciplina que busca trabalhar com o desenho geométrico e a representação de obras arquitetônicas como referência.

A atividade foi desenvolvida tendo em vista a representação geométrica de um parabolóide hiperbólico, bem como a exploração de sua aplicabilidade no campo da arquitetura. A escolha por esse elemento teve três razões. Primeiro porque o parabolóide hiperbólico pode ser considerado uma forma complexa pelas suas curvas, mas que parte de uma simples, o quadrado; segundo, sua estrutura tem alto potencial arquitetônico e é bastante presente no campo da construção civil e, terceiro, o estudo da geometria desse elemento já faz parte do currículo da disciplina de GGDIII. O foco dado ao desenho paramétrico, nesses exercícios, esteve em apresentar essa técnica como um meio de explorar uma superfície complexa de maneira dinâmica e maleável, através definição dos parâmetros variáveis de sua forma.

O parabolóide hiperbólico é classificado como uma superfície curva não desenvolvível, definida pela classe das superfícies retilíneas (fig. 30), dado que sua forma é gerada pelo movimento de uma reta geratriz paralela a um plano diretor apoiada em duas retas diretrizes reversas (fig. 31) (RODRIGUES, 1961), dessa maneira, também pode ser chamado de uma superfície de translação (POTTMANN, et al. 2007).



Figura 30: Classificação das superfícies geométricas. Em destaque o Parabolóide hiperbólico e sua classificação.
Fonte: RODRIGUES, 1961

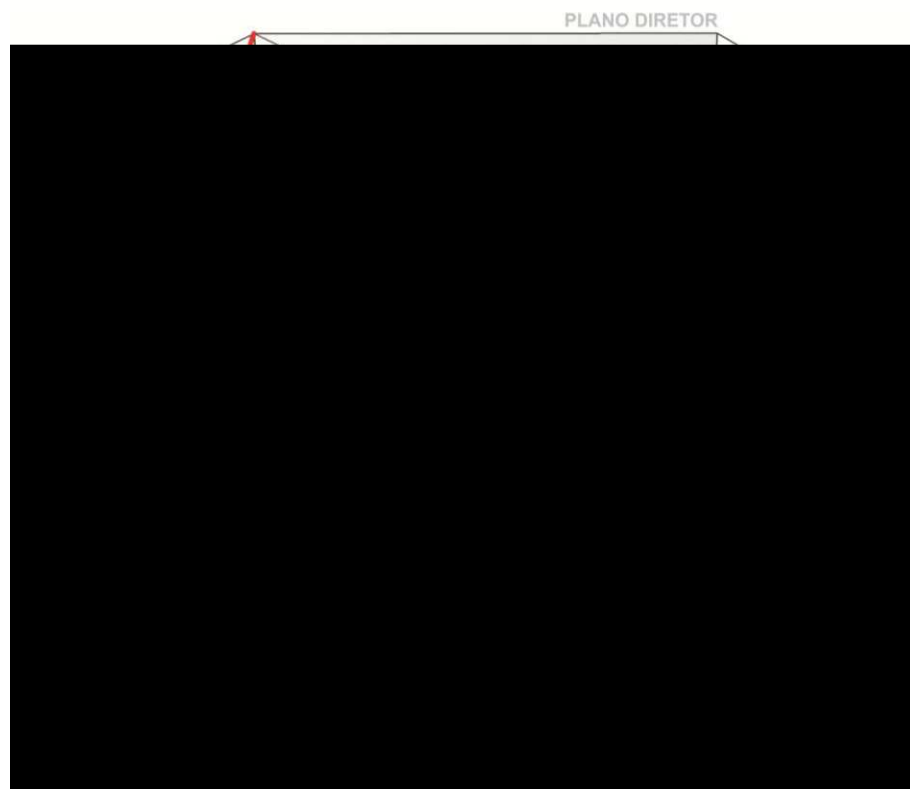


Figura 31: Geração de um parabolóide hiperbólico.
Fonte: autor

A regra de geração de um parabolóide hiperbólico é dada pela descrição de uma linha reta, a geratriz, entre pontos localizados ao longo de dois segmentos de retas inclinadas, as diretrizes. Tendo-se as diretrizes divididas pela mesma razão e geratrizes traçadas unindo os pontos em cada diretriz, dessa maneira tem-se então uma superfície regrada com uma família de geratrizes (fig. 32) (POTTMANN, et al. 2007). No caso do parabolóide hiperbólico, é possível representá-lo como uma superfície duplamente regrada, ou seja, com dois sistemas de geratrizes retilíneas concorrentes (fig. 33) (RODRIGUES, 1961), sendo cada família paralela a um plano diretor diferente.



Figura 32: Parabolóide hiperbólico, **geratriz entre os pontos “P” e “Q”**.
Fonte: POTTMANN, et al. 2007.



Figura 33: Parabolóide hiperbólico gerado a partir de dois sistemas de geratrizes configurando uma superfície duplamente regrada.
Fonte: autor

No eixo de simetria principal do parabolóide hiperbólico observam-se duas parábolas situadas em planos que passam por esse eixo (fig.34) (RODRIGUES, 1961). As propriedades estáticas positivas, especialmente aquelas observadas em paraboloides hiperbólicos de eixo vertical, possibilitam a construção de estruturas em casca que podem estender por grandes vãos, enquanto possuem, relativamente, pouca espessura. (POTTSMANN, et al. 2007) Ou seja, são elementos arquitetônicos de fácil uso e que oferecem muitas possibilidades projetivas (fig.35).



Figura 34: Parábolas nos planos que passam pelo eixo vertical.
Fonte: autor



Figura 35: Obras de Félix Candela. Capela de Nossa Senhora da Soledade, Restaurante Manantiales, Capela de Palmira e Capela da Virgem da Medalha Milagrosa.
Fonte: < <http://www.candelaprojects.com/> >

Entre as obras de arquitetura que exploram os atributos construtivos do parabolóide hiperbólico destacam-se os trabalhos do arquiteto Félix Candela. O expressionismo estrutural, explorado por Candela, é marcado pela singularidade e pelo aspecto artesanal no uso de superfícies arqueadas em finas camadas de concreto armado (fig. 35) (MONTANER, 2001).

Etapas da atividade

A atividade desenvolvida é composta por uma breve introdução teórica, seguida de exercícios práticos divididos em três etapas principais, que lidam com a modelagem do elemento geométrico estudado, o parabolóide hiperbólico, sua configuração como elemento construtivo e a exploração de seus parâmetros para a produção de variações formais. Os exercícios seguem o mesmo tipo de didática adotada na disciplina de GGDIII (PIRES, et al. 2011), buscando aliar ao estudo da geometria o uso de técnicas de representação digital e a exploração da forma através da modelagem de obras arquitetônicas, em que tais geometrias podem ser verificadas.

Parabolóide hiperbólico: O elemento geométrico a ser estudado é apresentado quanto a sua classificação, construção geométrica e aplicabilidade como elemento construtivo na arquitetura. O processo de elaboração da forma é explicado brevemente e ilustrado por esquemas gráficos. Com objetivo de exemplificar as possibilidades construtivas associadas ao parabolóide hiperbólico, são apresentadas quatro obras do arquiteto Félix Candela, tendo em vista seu amplo corpo de trabalhos que exploram as propriedades estruturais das coberturas em forma de “sela”. Cada obra escolhida teve como objetivo apresentar algum tipo de variação no uso do parabolóide hiperbólico para a arquitetura. As edificações selecionadas foram a Capela de Nossa Senhora da Soledade, Restaurante Manantiales, Capela de Palmira e Capela da Virgem da Medalha Milagrosa (fig. 22) que demonstram, respectivamente, o uso de seção prismática, a aplicação de intersecções, arranjo polar e arranjo com escalonamento.

Definição dos parâmetros: Em um segundo momento da introdução, faz-se uma análise dos entes geométricos que compõe a construção de um parabolóide hiperbólico, evidenciando a interdependência entre esses elementos. Nesse momento, os alunos devem observar a forma como um todo, bem como suas partes e identificar a hierarquia entre os elementos compositivos: pontos, linhas e superfície. Ao observar a relação entre cada grupo de elementos, os alunos devem deduzir que a forma final é gerada pela posição dos pontos no espaço. Pois estes pontos configuram os vértices do parabolóide hiperbólico, e ,consequentemente, dão origem às linhas, ou arestas que determinam os limites da superfície. A escolha dos pontos como sendo os parâmetros variáveis da forma é, então, dada pela verificação de que a forma pode ser modificada pela simples definição numérica das coordenadas cartesianas de cada ponto. Dessa maneira o ponto modifica a linha que modifica a superfície.

O desenho por parâmetros: Tendo-se apresentado na exposição anterior, que é possível modificar uma determinada forma, através do controle de seus parâmetros compositivos, a introdução formal ao desenho paramétrico é brevemente exposta, reforçando as ideias previamente observadas. O desenho paramétrico é demonstrado como um processo de projeto diferenciado que faz uso de um sistema generativo computacional, para produção de soluções formais através da definição de parâmetros variáveis e da associação entre os elementos geométricos.

Em uma comparação com as abordagens tradicionais ao projeto (FISCHER e HERR, 2001) apresenta-se o conceito de interação com objeto, por meio de um sistema generativo, e destaca-se que a definição / desenho desse sistema é feito pelo projetista. Nesse momento, é exposto o princípio de produção e exploração da forma através da geração de variações, obtidas pelo controle dinâmico dos valores atribuídos ao modelo.

As ferramentas digitais utilizadas para o exercício (Rhino3D e Grasshopper) são, então, apresentadas como uma plataforma para a configuração de um sistema generativo, ou seja, um ambiente que permite o projetista definir / desenhar o modelo parametrizado, através do qual a forma será explorada.

A introdução aos programas é realizada a partir de um rápido mapeamento da interface. Tendo em vista que os alunos já trabalham em sala de aula com outros programas CAD (AutoCAD, Sketchup, 3DMax). A interface do programa de modelagem Rhinoceros 3D (Rhino), apesar de diferente, pode ser de certa maneira intuída e os conhecimentos adquiridos em outros programas são transferíveis, não havendo necessidade de uma apresentação mais detalhada desse programa. No caso da introdução ao programa Grasshopper (GH) é preciso explicar um pouco sobre a maneira como o programa irá comunicar-se com o espaço de desenho e como funciona a interação entre o GH e o Rhino. É importante explicar os conceitos que determinam os elementos de desenho do GH, os parâmetros (carregam informação) e os componentes (fazem a ação). Explicações operacionais do programa são, então, apresentadas durante a execução das atividades expositivas em formato de passo a passo.

Construção do parabolóide hiperbólico

Esse primeiro exercício consiste na representação da forma geométrica feita através de um acompanhamento passo a passo, durante o qual é possível apresentar, de maneira contextualizada, as ferramentas e operações do programa e, ao mesmo tempo, direcionando foco para os conceitos introdutórios sobre a modelagem associativa e a definição de parâmetros.

A construção do parabolóide hiperbólico parte de uma forma simples, um quadrado, para uma forma complexa. O processo de desenho proposto segue uma hierarquia geométrica de representação: pontos, linhas e superfície. Ao final desse exercício, os alunos devem conseguir representar um parabolóide hiperbólico por meio de definições paramétricas e explorar livremente suas variações formais

Pontos: o exercício inicia pela criação dos pontos que representam os vértices de um quadrado, sendo que a posição de cada ponto é parametrizada pelos valores que determinam suas coordenadas no espaço cartesiano. No início do exercício os alunos criam o primeiro ponto através da parametrização de suas coordenadas “x” e “y”, e observam sua manipulação por meio do controle dinâmico dos valores atribuídos a cada uma das posições (fig. 36). Nesse momento, os alunos

trabalham com a diferenciação entre o que é um parâmetro, que são os elementos responsáveis pela entrada de dados no sistema, e o que são os componentes, que são os algoritmos responsáveis por realizarem uma determinada ação.

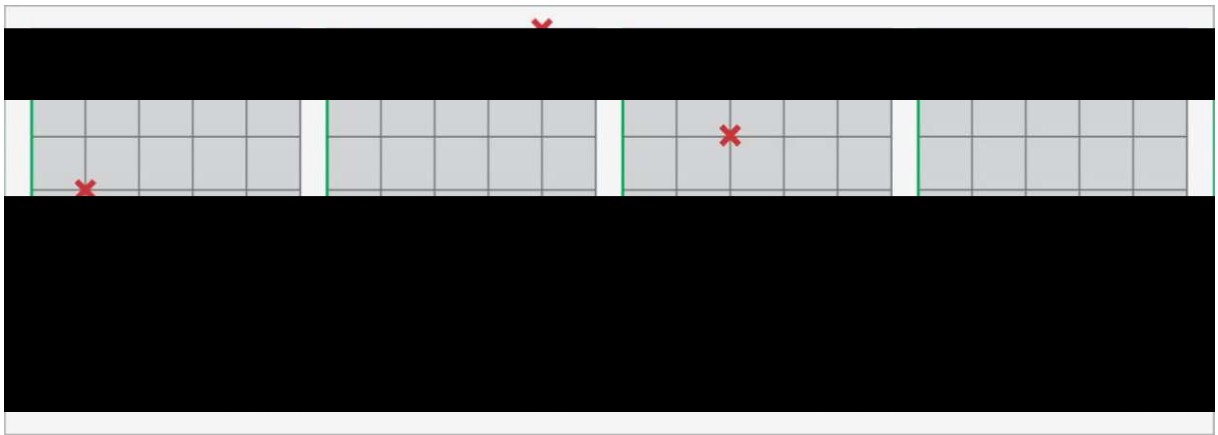


Figura 36: Representação e manipulação da posição de um ponto.
Fonte: autor

Essa etapa do exercício destaca a diferença entre a inserção e a manipulação de dados numéricos e gráficos. Uma atenção especial é dada para o instrumento de inserção numérica, chamado de slider. Através de um slider o valor de cada parâmetro pode ser alterado simplesmente deslizando um indicador, o que confere uma nova dimensão ao processo de manipulação dos objetos gráficos.

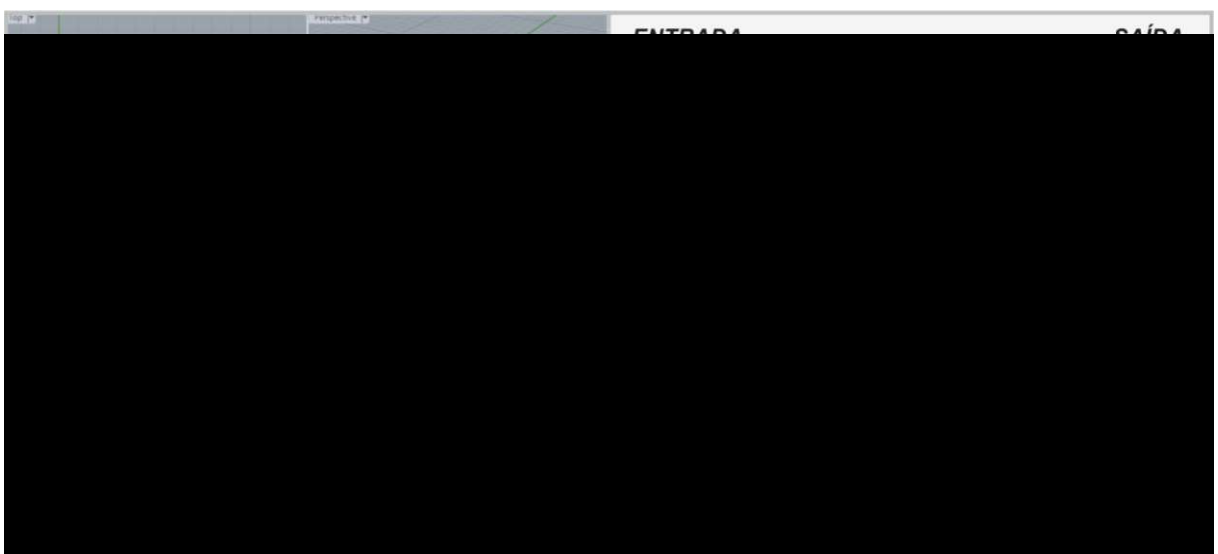


Figura 37: Representação dos pontos que darão origem aos vértices de um quadrado.
Fonte: autor

A explicação sobre o dispositivo slider é complementada pela análise de seus elementos configuráveis, como a determinação do domínio de alcance numérico (valores mínimo e máximo) e o uso de números inteiros ou reais, pares ou ímpares, dessa maneira é possível definir o conceito de restrição projetiva. Outra orientação dada, nesse momento, é a de atribuir uma nomenclatura específica para o parâmetro, o que auxilia na sua identificação bem como reforça sua função no processo de definição do modelo. Após o passo a passo introdutório dessa etapa, os alunos são incentivados a representar sozinhos os outros três pontos e posicioná-los de acordo com as coordenadas fornecidas (fig.37).

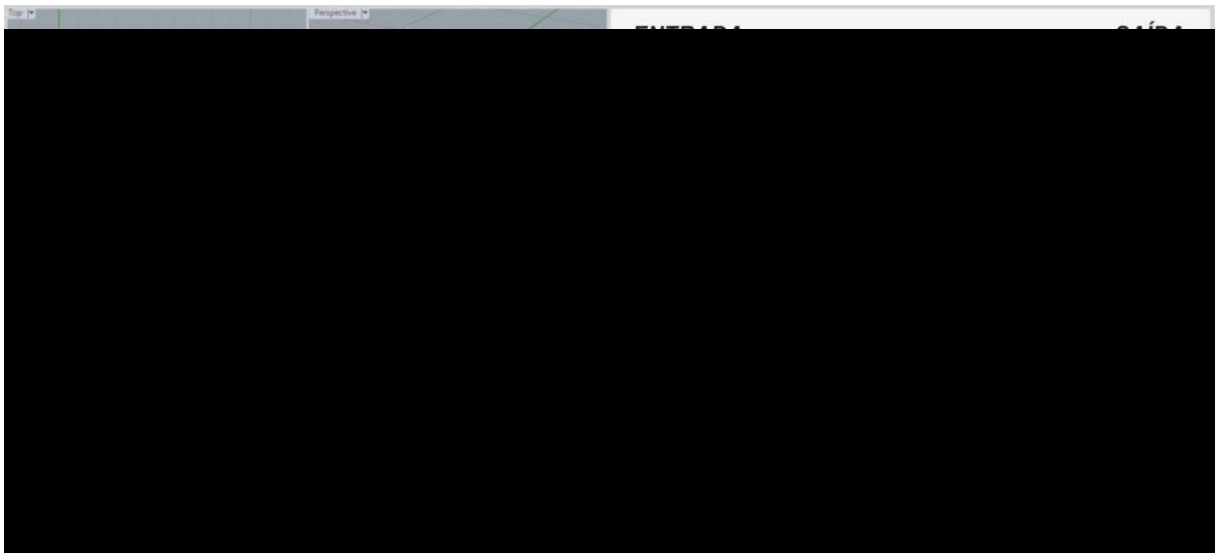


Figura 38: Representação do polígono que dará origem ao parabolóide hiperbólico.
Fonte: autor

Linhas: tendo-se a definição dos pontos, o passo seguinte é a criação das linhas que vão definir as arestas do quadrado que, posteriormente, serão as retas diretrizes do parabolóide hiperbólico. As linhas são geradas a partir da conexão entre os dois pontos criados na etapa anterior, ou seja, os parâmetros de entrada são os pontos e a saída é a representação da linha parametrizada pela posição dos pontos em suas extremidades; ao modificar a posição de um ponto, a linha acompanha parametricamente (fig.38). O mesmo vale para linhas que utilizam o mesmo ponto para sua geração, isso ilustra a relação de interdependência entre os elementos geométricos. Nesse momento, demonstra-se a diferença de conteúdo projetivo entre um polígono, representado pela posição das linhas com 12

parâmetros, e outro por componentes predefinidos, principalmente, por dois parâmetros (posição e valor dos lados). No polígono com 12 parâmetros são possíveis outras configurações, além do quadrado ou retângulo e, no caso do exercício, permitem atribuir a cada ponto um valor de altura, (coordenada z) para realizar a configuração do parabolóide hiperbólico.

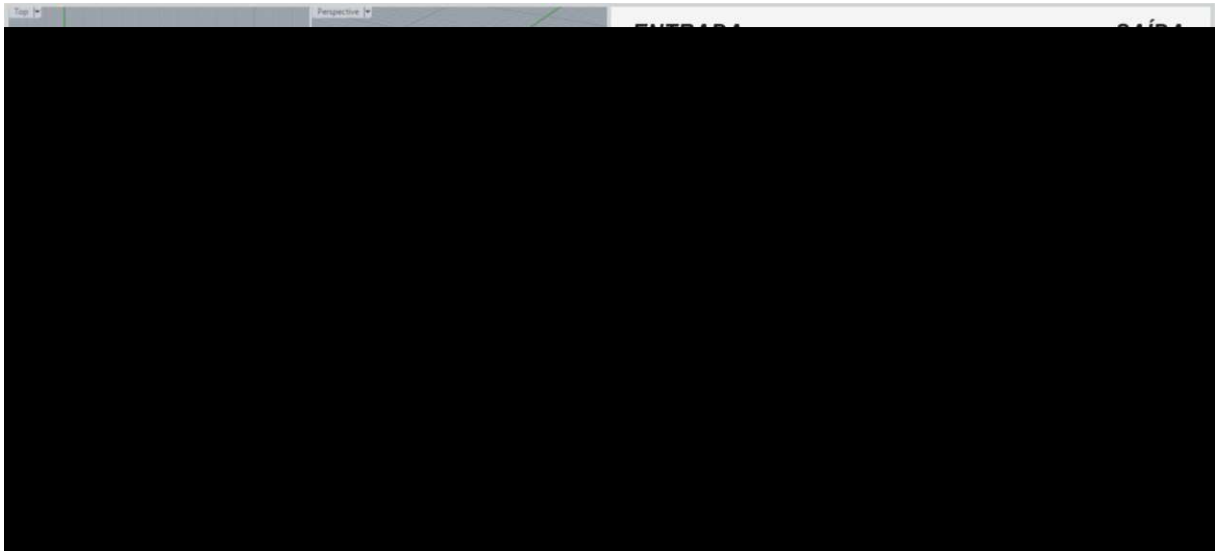


Figura 39: Representação da superfície.
Fonte: autor

Superfície: a definição de uma superfície quadrada dá-se pela associação das linhas geradas, na etapa anterior, com o componente que cria uma superfície a partir de seus limites (Edge Surface), que são as arestas do quadrado (fig.39). Nesse caso, fica evidente que, para modificar a linha, é preciso aplicar alguma transformação, mas no processo paramétrico o que dever ser feito é o controle numérico das coordenadas dos pontos, que são as extremidades das linhas e, consequentemente, os vértices do quadrado.

Parabolóide hiperbólico: Através da alteração da altura dos pontos “B” e “D”, faz-se com que as retas diretrizes assumam direções opostas, ficando inclinadas e reversas, constituindo um parabolóide hiperbólico (fig.40).

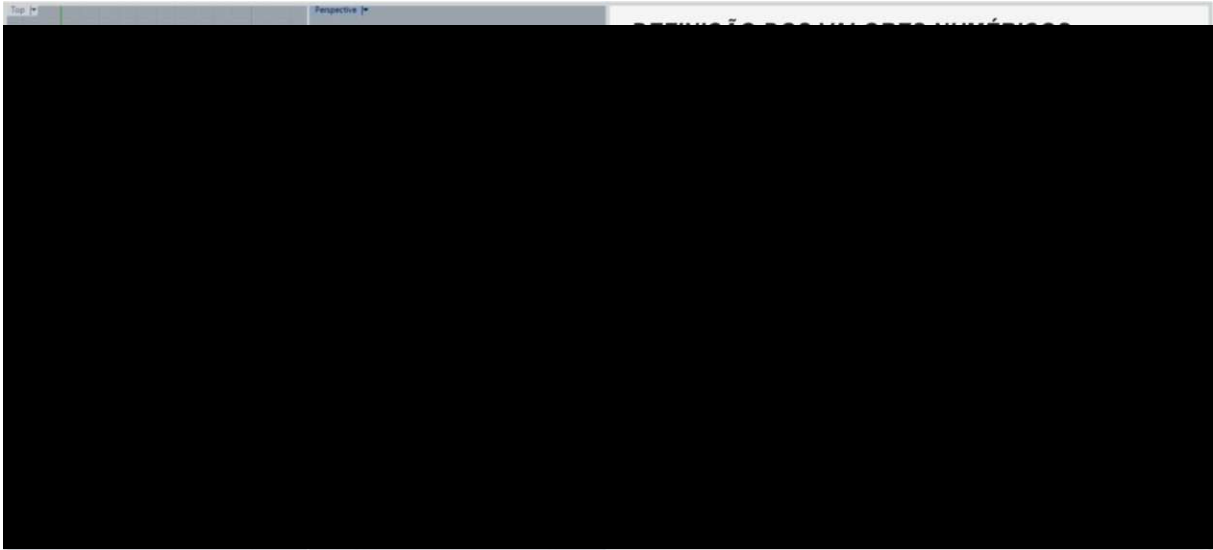


Figura 40: Configuração do parabolóide hiperbólico.
Fonte: autor

Variações: tendo-se o parabolóide hiperbólico, os alunos devem explorar diferentes variações formais pelo controle dos parâmetros. Essa etapa destaca a exploração da forma, a partir dos dados numéricos atribuídos as coordenadas, ao invés de operações de transformação da forma (fig.41).

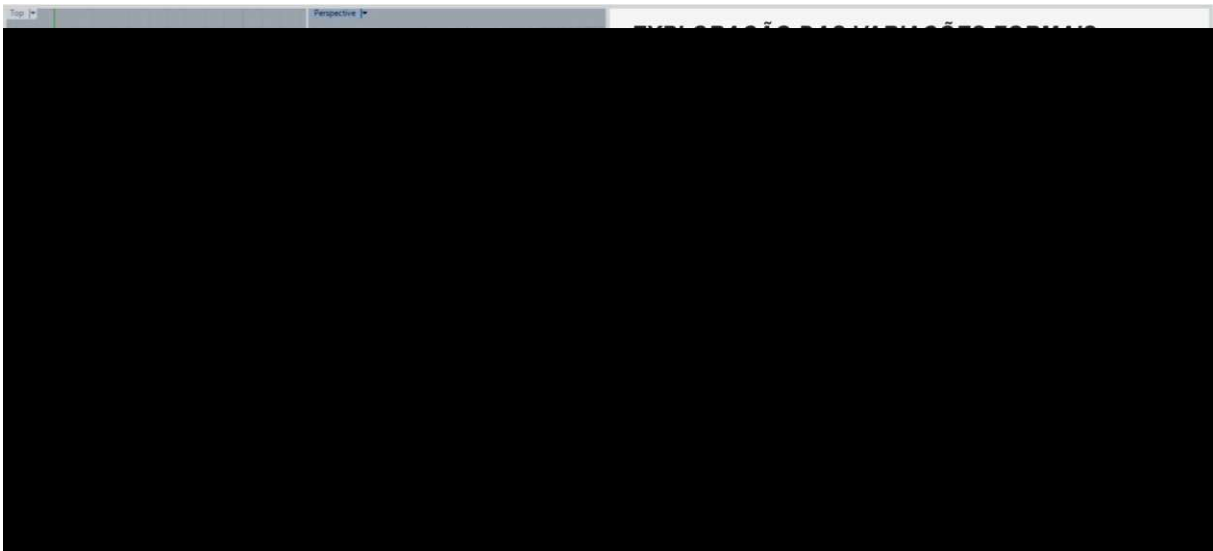


Figura 41: Alteração da forma do parabolóide hiperbólico.
Fonte: autor

Nesse exercício, os alunos devem seguir as coordenadas numéricas fornecidas, para gerar variações e observar as propriedades dinâmicas do modelo (fig.42).



Figura 42: Variações na configuração do parabolóide hiperbólico.
Fonte: autor

Análise da definição: Ao final da atividade faz-se uma revisão da definição do modelo paramétrico, isso permite a discussão sobre conceitos trabalhados ao longo dos exercícios, como definição de parâmetros e relação entre elementos geométricos, além de evidenciar a ideia do registro do processo criativo (fig.30).

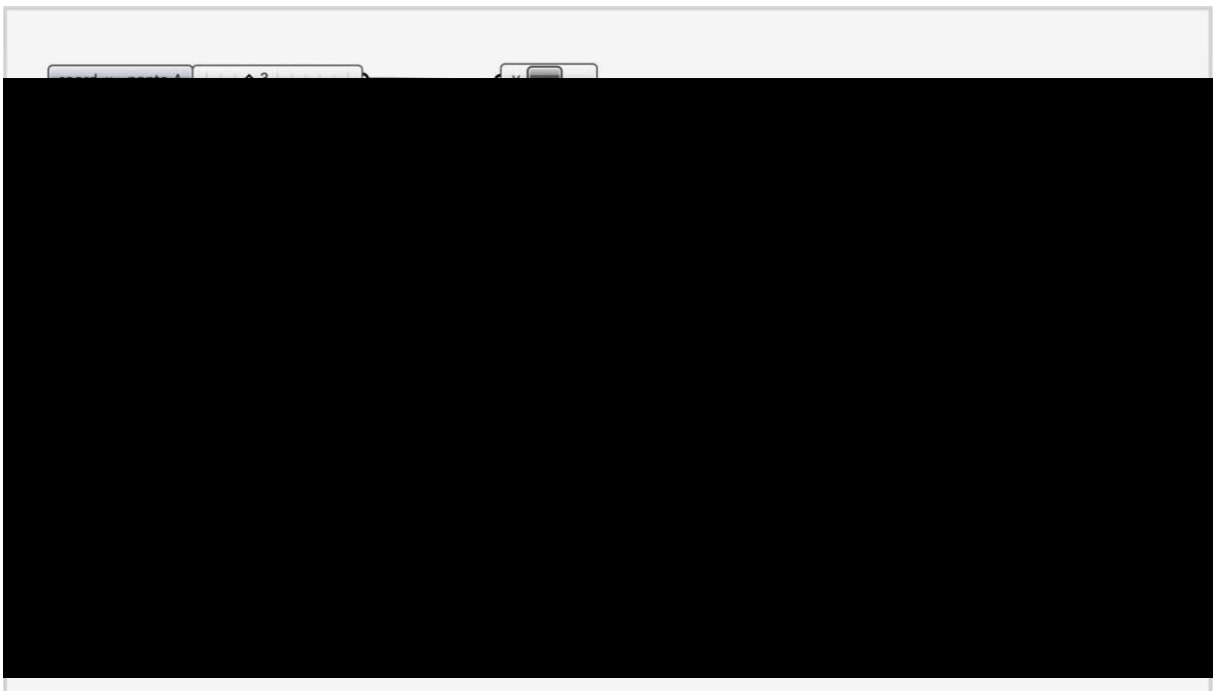


Figura 43: Definição final do parabolóide hiperbólico.
Fonte: autor

Produção de modelos gráficos: O último passo é a transformação do modelo definido no GH para um sólido do Rhino 3D. Isso demonstra para os alunos como o modelo criado, a partir de dados numéricos e relações algorítmicas, passa de informação codificada em uma linguagem de programação visual para informação gráfica, que pode ser aplicada ao projeto.

Configuração de um parabolóide hiperbólico como cobertura

A segunda atividade lida com a configuração da superfície como cobertura. Para isso introduz-se a operação de extrusão a qual, parametrizada, determina a espessura que o parabolóide hiperbólico deve assumir. Nessa etapa, é feita uma relação direta entre o elemento geométrico estudado e suas propriedades construtivas, explorando diferentes configurações por meio da análise de obras arquitetônicas.

Extrusão: a partir da superfície gerada no exercício anterior, a definição da espessura é dada pela ligação do componente extrusão ao modelo do parabolóide hiperbólico (fig.45). A extrusão tem como parâmetro variável seu valor distância que está sujeito a um determinado vetor.

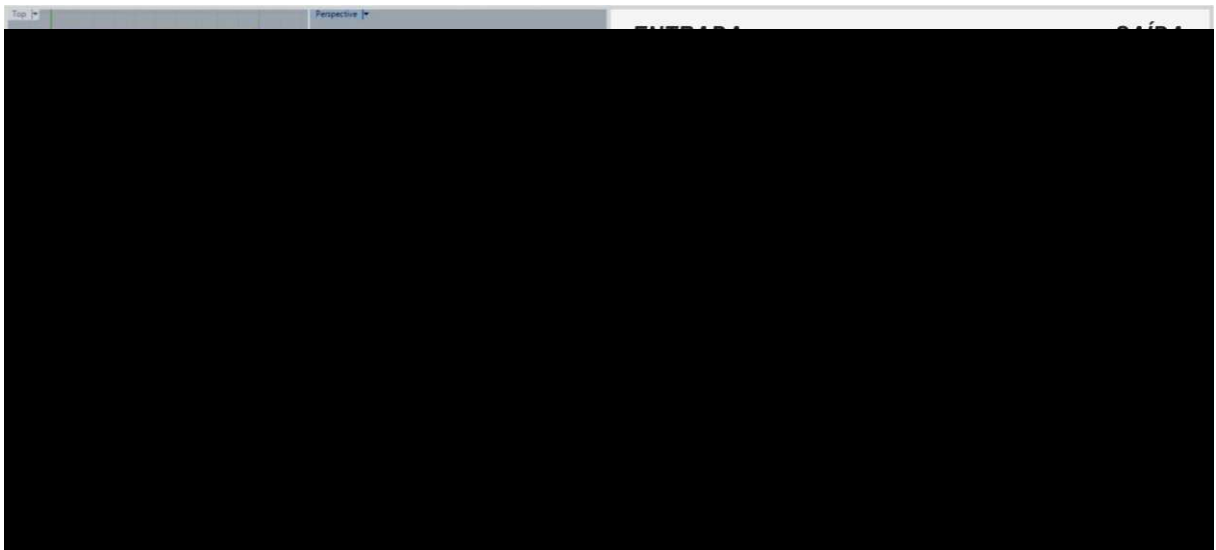


Figura 44: Aplicação de espessura ao parabolóide hiperbólico.
Fonte: autor

Representação de uma obra arquitetônica: tendo-se o modelo do parabolóide hiperbólico parametrizado pelos valores correspondentes às coordenadas cartesianas dos pontos e a espessura da estrutura, a etapa seguinte trabalha com a análise e representação geométrica de uma obra arquitetônica.

A obra trabalhada durante essa etapa é o Hypar Pavillion do escritório Diller Scofidio + Renfro e FXFowle (fig.46), que tem como cobertura uma estrutura em forma de parabolóide hiperbólico. O edifício funciona como um restaurante e tem sua cobertura revestida com vegetação, que funciona como um espaço de lazer público.

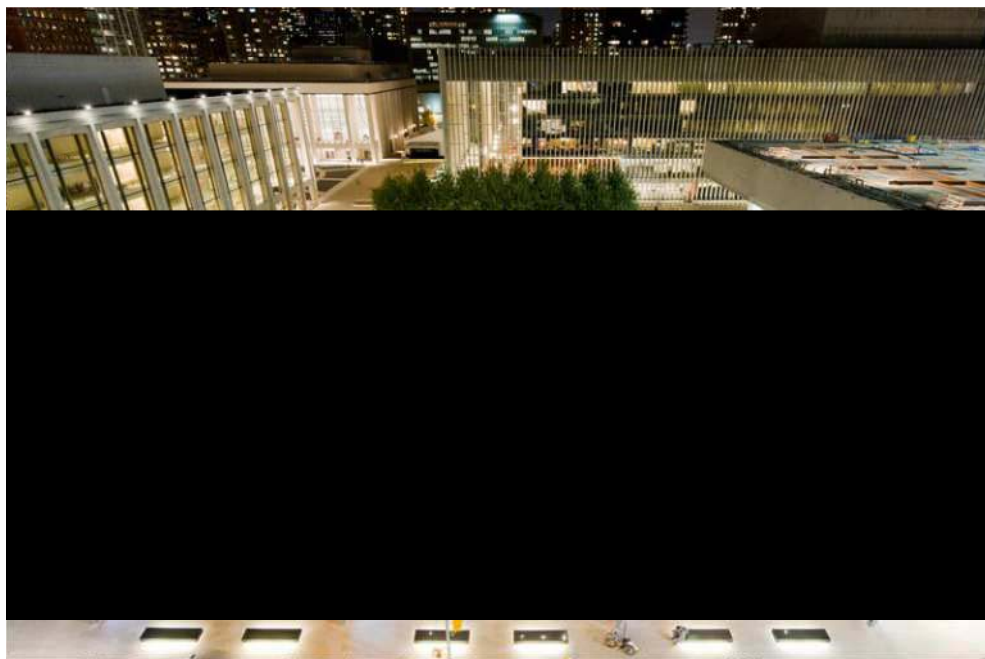


Figura 45: Hypar Pavillion, no Lincoln Center - Nova Iorque, E.U.A., 2010 - Diller Scofidio + Renfro e FXFowle.

Fonte: ArchDaily <<http://www.archdaily.com/94493>>

A análise da obra é feita com base em fotografias e plantas, cortes e fachadas, através dos quais é possível aproximar suas dimensões (fig.47). Essa etapa da atividade é realizada num formato de apresentação passo a passo; com isso, os alunos podem seguir o processo de modelagem e observar a metodologia para aplicar no próximo exercício, que deve ser realizado individualmente.

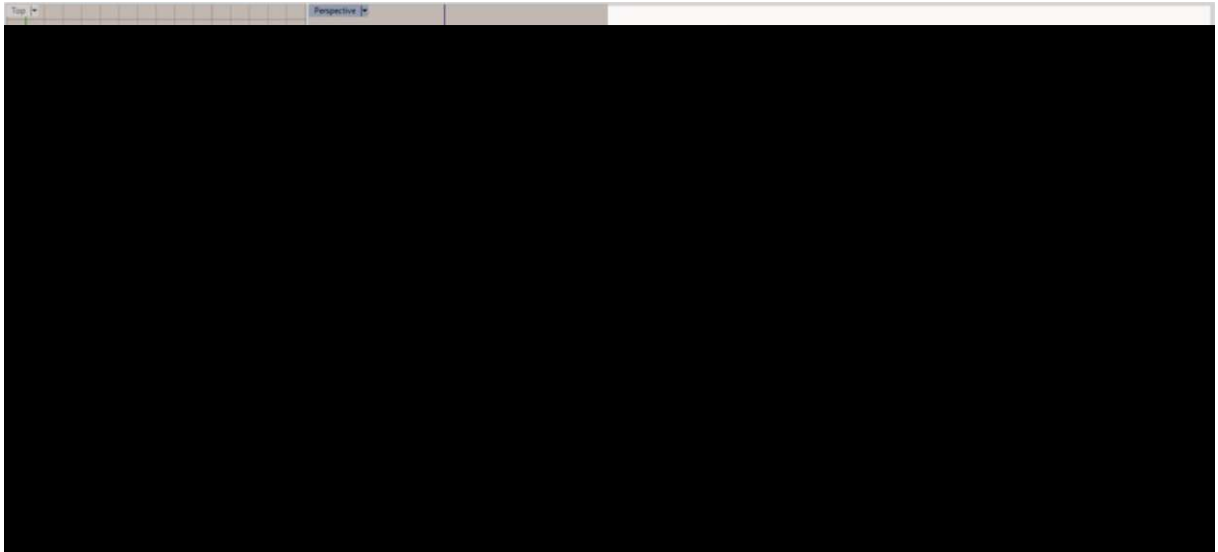


Figura 46: Análise e definição da geometria do Hypar Pavillion.
Fonte: autor

Exercício de análise e modelagem de obras arquitetônicas: a partir dos métodos estudados na atividade anterior, novas obras são apresentadas para serem analisadas e modeladas individualmente. As obras trabalhadas apresentam, como cobertura, um parabolóide hiperbólico de seção poligonal, indicada pelos quatro pontos definidos previamente, sendo que cada obra tem uma configuração diferente dessa geometria (fig.48). Para essa atividade é feita uma análise visual da obra, identificando as dimensões que serão atribuídas numericamente ao modelo.



Figura 47: Obras para análise e modelagem: Lobby do Hotel Wikkikian, Igreja Luterana de Carlton Hills, Novo terminal Rodoviário de Brasília, Casa Catalano, Estação Ochota e Restaurante Ostseeperle.

Fonte: < <http://www.masonarch.com>>, < <http://modernistarchitecture>>

Seção de um parabolóide hiperbólico como cobertura

A terceira atividade trabalha com uma seção elíptica do parabolóide hiperbólico como base para exploração de variações formais do elemento de cobertura. Nesse momento, são introduzidas operações de interseção e rotação.

Representação de obra arquitetônica: seguindo o método da segunda etapa de análise e modelagem da obra arquitetônica de referência, a representação é feita passo a passo, permitindo a interação dos alunos e a apresentação das operações necessárias. A obra trabalhada nesse momento é o Velódromo de Londres, projeto do escritório Hopkins Architects para os Jogos Olímpicos de 2012 (fig.49). O edifício consiste em um ginásio de 21.700 m² que tem como cobertura um parabolóide hiperbólico em seção elíptica.



Figura 48: Velódromo de Londres.
Fonte:< <http://www.hopkins.co.uk>>

Seção elíptica: a primeira parte dessa etapa da atividade consiste na definição paramétrica da seção elíptica. O componente “elipse” do Grasshopper possui três dados de entrada: o ponto que indica sua localização e seus dois raios; e três dados de saída: a curva que define o seu perímetro e seus dois pontos de foco.

O ponto de origem da elipse é dado pela definição de um ponto “O” que tem suas coordenadas em “x” e “y” parametrizadas. Os raios são parametrizados de modo a permitir explorar diferentes configurações de secção elíptica. A partir da curva da elipse é gerado um plano que, então, servirá de fonte para uma operação de extrusão, que tem sua distância parametrizada (fig.50). O resultado final dessa operação é um cilindro elíptico com sua posição, seus raios e sua altura parametrizados.

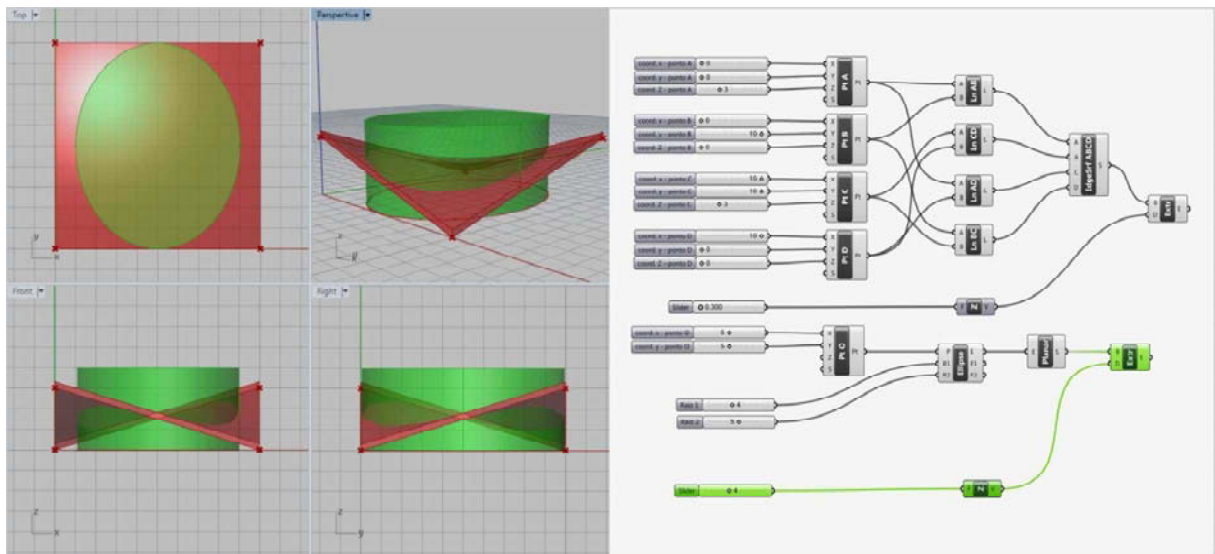


Figura 49: Geração da seção elíptica.
Fonte: autor

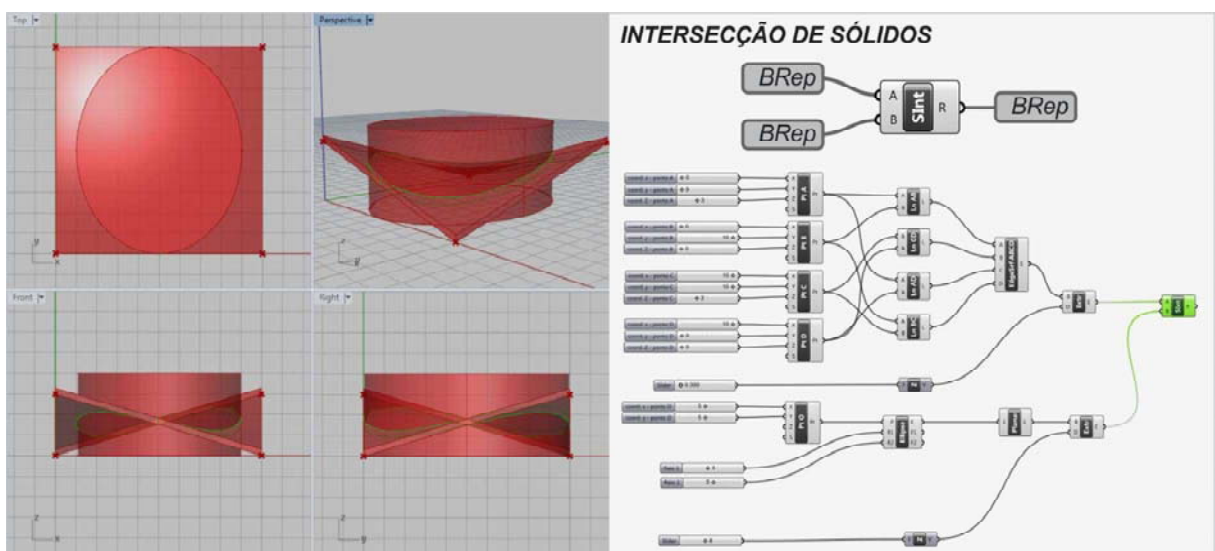


Figura 50: Figura 55: Intersecção entre sólidos.
Fonte: autor

Interseção de sólidos: a seção elíptica do paraboloide hiperbólico é dada por uma operação booleana de intersecção de sólidos. Nesse momento, os sólidos gerados a partir da extrusão do paraboloide hiperbólico e da elipse são interseccionados (fig.51), tendo como resultado a parte comum entre os dois sólidos, a seção elíptica do paraboloide hiperbólico. A forma resultante é, assim, evidenciada ao desativar-se a visualização dos elementos complementares do desenho, a não ser pelos pontos e linhas que geram o paraboloide hiperbólico, o que permite verificar e acompanhar a definição dos valores atribuídos aos parâmetros de posição dos pontos (fig.52).

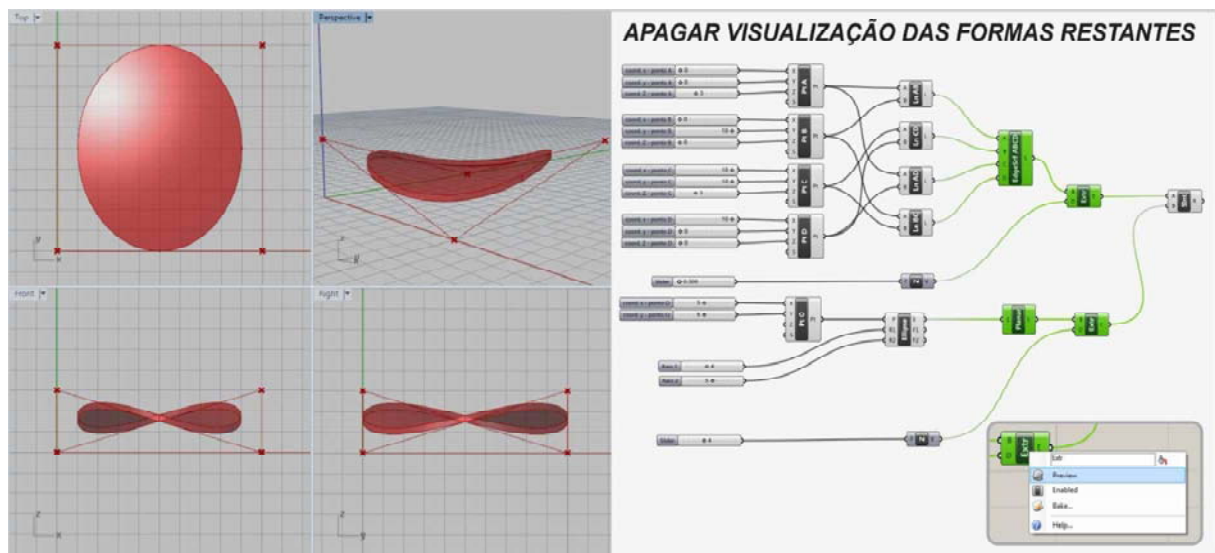


Figura 51: Visualização do paraboloide hiperbólico de seção elíptica.
Fonte: autor

Análise da forma gerada: tendo-se a seção elíptica do paraboloide hiperbólico gerada é possível realizar uma análise comparativa entre a forma gerada e a edificação de referência. A exploração da forma é, então, dada pelo controle dos valores paramétricos que a definem.

Nessa etapa, os alunos, sozinhos ou em grupos, observam as imagens de referência do Velódromo e exploram as diferentes configurações da forma gerada. A busca pela representação da cobertura do Velódromo leva os alunos a identificar que, para que a forma da cobertura seja encontrada, é necessário realizar uma rotação de 45 graus a fim de encontrar a posição correta da seção elíptica em relação ao paraboloide hiperbólico (fig.53).

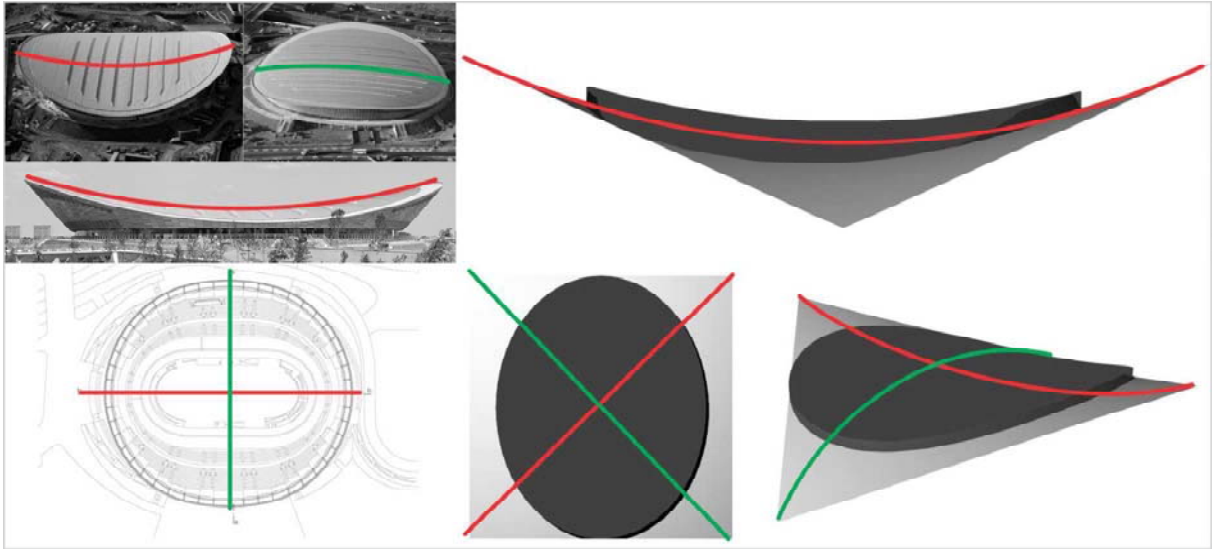


Figura 52: Análise da edificação e exploração da forma.
Fonte: autor

A operação de adicionar um componente de rotação à definição (fig.54) possibilita encontrar a forma da cobertura do Velódromo (fig.55), além de colocar em evidência alguns princípios importantes do desenho paramétrico, como a identificação de uma instância no histórico de projeto, em que se deve realizar uma determinada intervenção para corrigir algum passo do processo, sem que haja necessidade do redesenho.

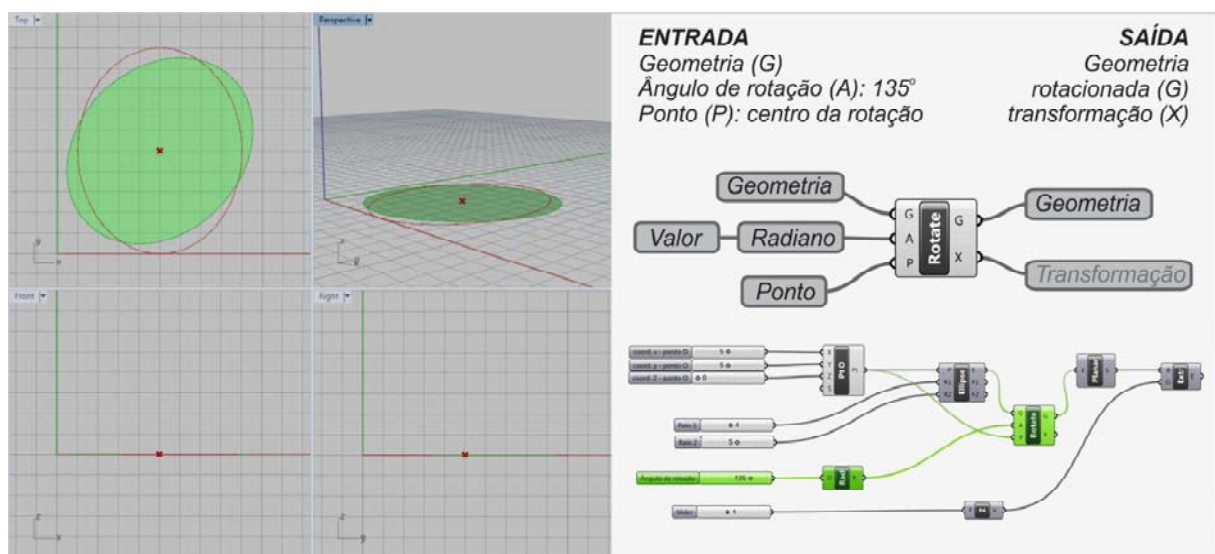


Figura 53: Adição do componente de rotação à definição.
Fonte: autor

parâmetros atribuídos ao modelo permitem explorar variações formais, a última parte dessa atividade consiste na manipulação de dados com objetivo de encontrar a forma apresentada em exemplos de obras arquitetônicas (fig.57).



Figura 56: Aeroporto Heydar Aliyev, Anfiteatro Coney Island e Seddledome.
Fonte: Arup, Grimshaw Architects e Scottishbank Seddledome

2.2.1.3 Aplicação da atividade 01

2.2.1.3.1 Atividade 01-A: GGDIII e Informática I

O primeiro experimento de introdução ao desenho paramétrico para alunos do curso de arquitetura e urbanismo ocorreu em um formato de atividade piloto (BROD et al. 20012), com objetivo de coletar dados para auxiliar na elaboração dos exercícios didáticos apresentados. Neste momento, foi feito um ensaio, buscando disciplinas que já se ocupassem de dois temas implícitos: geometria e informática. Tendo em mente questões prévias de requisitos para uma atividade projetual deste tipo, o exercício foi realizado nas disciplinas de Geometria Gráfica Digital III (GGDIII), ministrada no segundo semestre do curso, e Informática Aplicada ao Projeto de Arquitetura e Urbanismo I (Informática I), que é ministrada no quinto semestre do curso.

A atividade foi organizada para ser aplicada em uma aula de quatro horas em três turmas distintas, uma de GGDIII (20/06/2012) e duas de Informática I (25 e 26/06/2012), durante o primeiro semestre letivo de 2012. O conteúdo apresentado e sua formatação seguiram um modelo similar ao descrito anteriormente, em que se trabalhou a modelagem paramétrica de um paraboloide hiperbólico e em seguida a representação tridimensional do prédio do Velódromo Olímpico de Londres. A diferença principal entre a atividade piloto e os exercícios apresentados esteve no

processo de definição do modelo e, principalmente, na busca de variações formais. Nesse primeiro momento, trabalhou-se com a exploração livre, ao contrário da modelagem de outras obras arquitetônicas (fig. 58). Ao final da atividade, foi aplicado um questionário, com objetivo de avaliar a percepção dos estudantes quanto à abordagem paramétrica e sua contribuição no processo criativo.

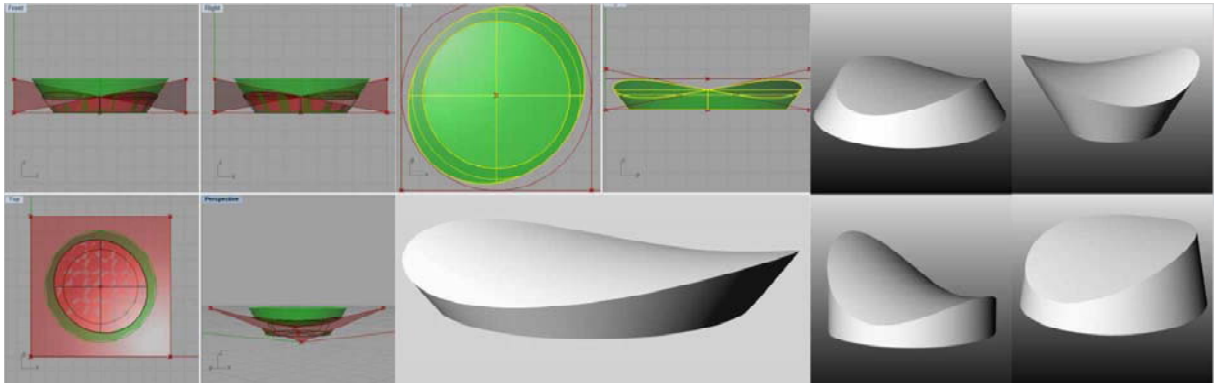


Figura 57: Atividade piloto: geração do modelo do Velódromo e variações livre
Fonte: autor

2.2.1.3.2 Atividade 01-B: GGDIII

A atividade, em seu formato final, como apresentado na descrição, foi aplicada a alunos de GGDIII durante o segundo semestre letivo de 2012. A introdução e os exercícios foram aplicados durante um período de duas aulas de quatro horas cada uma.

Na primeira aula, o desenho paramétrico foi introduzido através de uma revisão sobre os elementos geométricos que os alunos vinham estudando e a construção do parabolóide hiperbólico. Esta fase foi fundamental para que os alunos compreendessem a relação entre os elementos construtivos de uma determinada forma geométrica e a definição de seus parâmetros variáveis. Portanto, na etapa introdutória, buscou-se fazer com que os alunos, ao estudarem o processo geométrico de geração do parabolóide hiperbólico, pudessem perceber como construí-lo de maneira que, a partir de um processo de construção único, fosse possível encontrar diferentes variações pela simples manipulação dos valores paramétricos de suas partes.

Após uma breve apresentação dos programas Rhinoceros e Grasshopper, os alunos seguiram o passo a passo da construção do parabolóide hiperbólico, durante o qual a maioria das operações relacionadas ao desenho por programação visual foi apresentada de maneira contextualizada na realização do exercício (fig.59). Na fase de modelagem do parabolóide hiperbólico, os alunos puderam experimentar, a cada etapa da construção, o nível de controle e dinamicidade do desenho paramétrico; primeiro na definição do ponto e como sua posição pode ser controlada pelos valores atribuídos às coordenadas cartesianas, em seguida no desenho das linhas, da superfície e então do parabolóide hiperbólico.

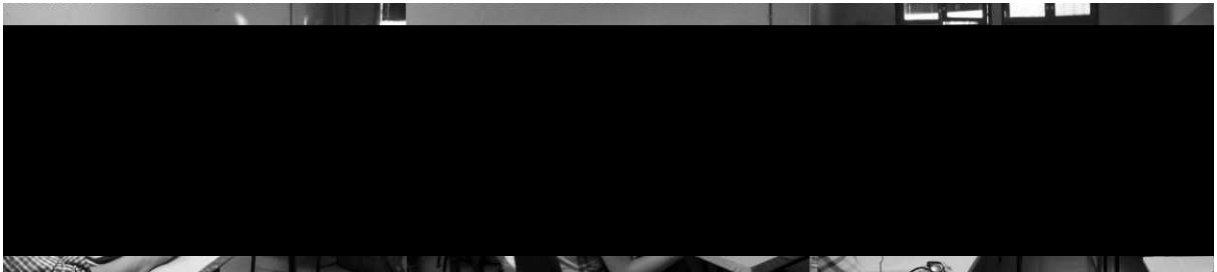


Figura 58: Atividade com alunos de GGDIII.
Fonte: autor

Na primeira aula, a última atividade consistiu em gerar extrusão à superfície e representar o prédio do Hypar Pavillion. Essas atividades foram realizadas no formato passo a passo, mas de maneira que os alunos pudessem interagir. Durante o processo, os alunos respondiam questões sobre as ações de geração, assim reforçando os conhecimentos sobre a forma e a compreensão espacial e o desenho paramétrico. Finalizando esse exercício, os alunos realizaram a representação de mais seis obras de arquitetura, de tal maneira que exercitassem a manipulação dos parâmetros do modelo, bem como registrassem as etapas do processo de geração (fig.60).

O produto final apresentados pelos alunos ao final desse exercício, foram fichas de registro que indicavam os valores atribuídos a cada parâmetro e o registro das imagens geradas. (fig.61).

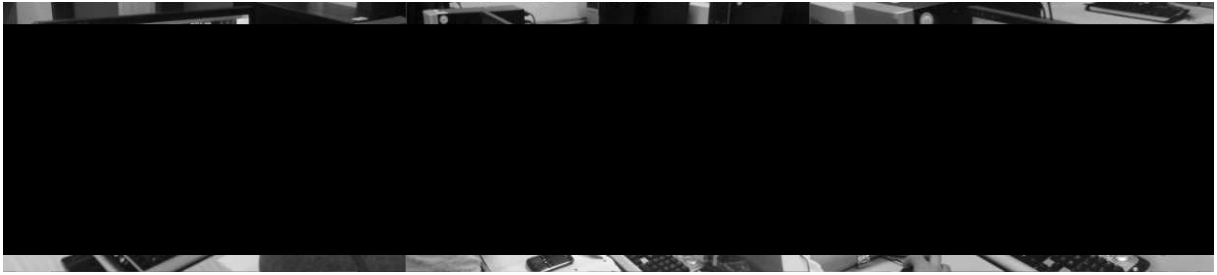


Figura 59: Alunos realizando atividade 2.
Fonte: autor

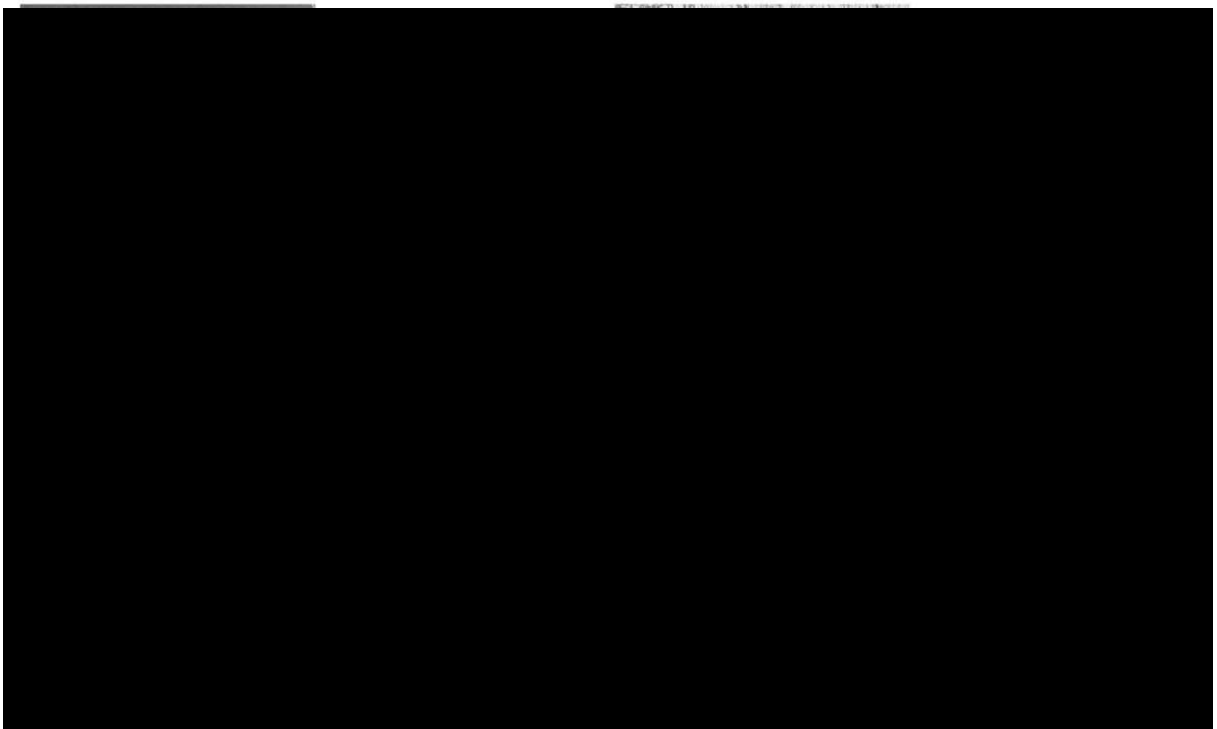


Figura 60: Modelagem das obras arquitetônicas feita pelos alunos.
Fonte: autor

Na segunda aula, trabalhou-se com o processo de geração e busca de variações de uma seção elíptica do parabolóide hiperbólico. Como modelo de representação, para essa etapa, foi realizada a definição passo a passo do prédio do Velódromo Olímpico de Londres (fig. 62). E, em seguida, seguindo o mesmo exercício da aula anterior, trabalhou-se com os parâmetros para a representação de três obras arquitetônicas topologicamente idênticas ao velódromo. (fig. 63 e 64)

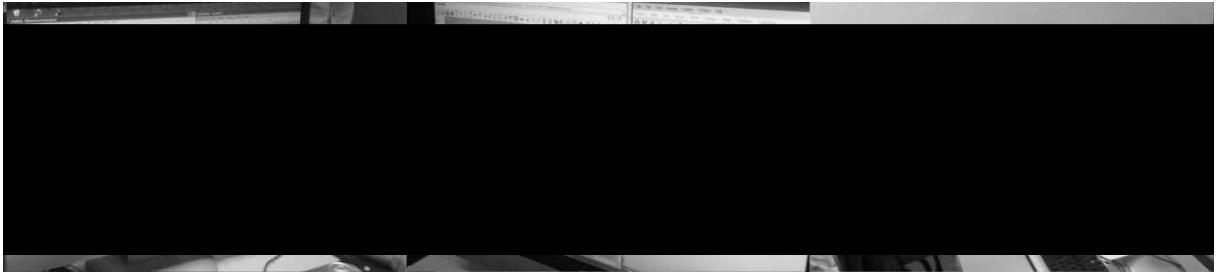


Figura 61: Alunos realizando atividade 3.
Fonte: autor



Figura 62: Modelagem parametrizada e imagens renderizadas e definição para registro da atividade.
Fonte: autor

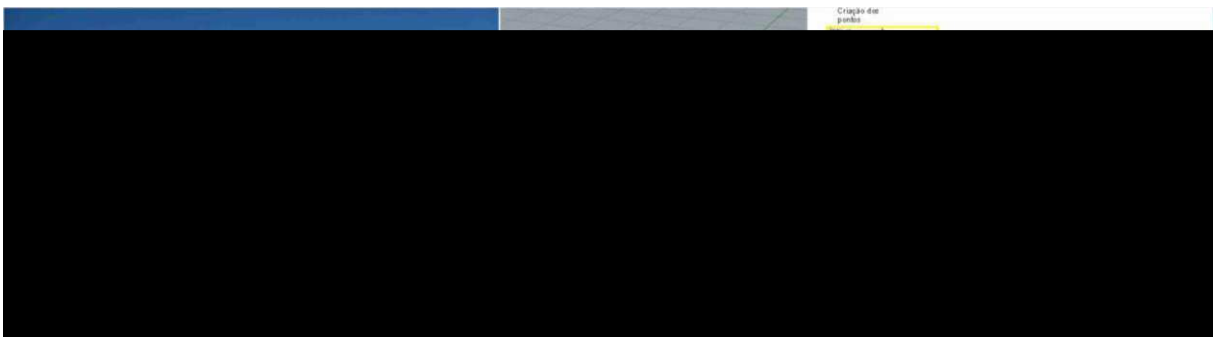


Figura 63: Análise geométrica da obra, modelagem comparativa da seção elíptica do paraboloide e definição detalhando as ações de cada etapa trabalhada.
Fonte: autor

Ao final da atividade, os alunos puderam estudar modelos físicos do elemento produzidos por fabricação digital, demonstrando as possibilidades de diferentes soluções para materialização de uma forma complexa. Foram apresentados modelos de impressão 3D e corte a laser do paraboloide hiperbólico, bem como um modelo do velódromo (fig. 65, 66, 67).



Figura 64: Maquetes do parabolóide hiperbólico realizadas com impressão 3d.
Fonte: autor



Figura 65: Maquetes do parabolóide hiperbólico realizadas com corte a laser.
Fonte: autor

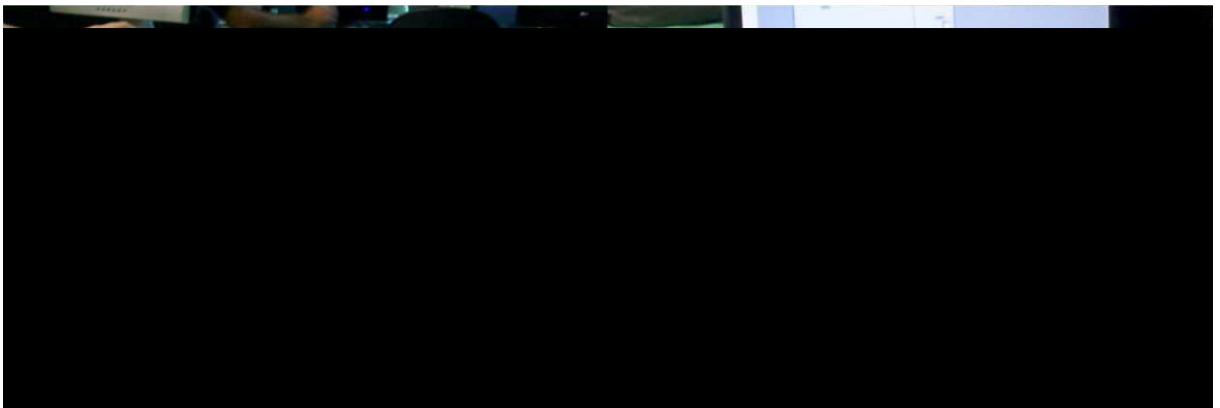


Figura 66: Maquetes do Velódromo em impressão 3d estudada pelos alunos.
Fonte: autor

2.2.2. Atividade 02: oficina de extensão

As atividades de introdução ao desenho paramétrico, elaboradas para serem aplicadas em oficinas (apêndice b), tiveram como objetivo apresentar conhecimentos e exercitar habilidades que abordassem alguns dos princípios fundamentais do desenho paramétrico e de sistemas generativos, sem a necessidade de haver uma conexão direta com alguma disciplina específica do campo de conhecimento de arquitetura e urbanismo, ainda que o foco estivesse direcionado para a construção geométrica. O objetivo principal da atividade está em apresentar uma nova técnica para exploração criativa e de processo de projeto, com a finalidade de fornecer aos participantes uma visão abrangente das novas possibilidades, trazidas por processos digitais de busca formal.

2.2.2.1. Descrição do contexto

O contexto, para o qual essa atividade foi desenvolvida, é muito mais amplo do que o contexto particular da atividade 01. A introdução do desenho paramétrico em um formato de oficina multidisciplinar permite maior liberdade para se explorar o tema, sem que o mesmo seja elaborado para um grupo em especial.

Nesse caso, ainda que o foco fosse arquitetura e urbanismo, não se especificou o avanço formativo dos participantes ou mesmo seu nível conhecimentos e habilidades informáticas. Além disso, o caráter introdutório e a apresentação ao tema, como um meio de ampliar o as possibilidades criativas em geral, caracterizou essa atividade como multidisciplinar, podendo atender, assim, qualquer área afim como design, artes, engenharia, informática, etc.

2.2.2.2. Descrição da atividade

A oficina foi configurada em três partes: introdução teórica, exercícios práticos e projeto. O conteúdo apresentado em cada etapa tem a função não só de apresentar o processo de desenho paramétrico, mas, principalmente, fornecer aos participantes informações e ferramentas básicas para o desenvolvimento de um projeto original.

Introdução do exercício

A etapa de introdução teórica da oficina teve o objetivo de realizar uma apresentação formal de alguns conceitos principais, relacionados ao desenho paramétrico. Nesse sentido, a explicação é feita através de curtos textos explicativos, combinados com diagramas e ilustrações. A introdução concentra-se em apresentar a ideia de geração da forma por meio de um sistema generativo, e como se dá a relação entre projetista, sistema e produto. Uma das fontes principais para essa explanação forma os diagramas apresentados em “Teaching Generative Design” de FISHER e HERR (2001) expandidos para englobar outros conceitos e relacionar o uso de sistemas generativos com o desenho paramétrico.

O uso de sistemas generativos para o projeto é apresentado como um processo que combina o pensamento lógico e a construção geométrica, para que seja possível estabelecer parâmetros variáveis de uma determinada forma. Nesse sentido, a função do uso de algoritmos, no desenho, demonstra a relação de ordem e procedimento e associação entre esses elementos compositivos. A parte final da introdução relata sobre o processo de projeto e construção do Museu Guggenheim de Bilbao, como um exemplo que ilustra o uso compreensivo de meios digitais no campo da arquitetura.

Exercícios práticos

Os exercícios práticos buscaram trabalhar com três questões fundamentais do desenho paramétrico: o controle da forma por entrada de dados numéricos, a introdução de dados gráficos a um modelo parametrizado e a geração de padrões numéricos. As atividades foram idealizadas em um formato de passo a passo, onde o aluno acompanha as ações do instrutor.

Entrada de dados numéricos

Os exercícios que lidam com entrada de dados numéricos foram desenvolvidos, tendo como ponto de partida a configuração de uma forma simples: um triângulo, ao qual, posteriormente, são aplicadas operações de transformação.

Nessa etapa, o foco está em apresentar o processo de construção geométrica, de tal maneira que a definição dos parâmetros, no início da construção, irá, posteriormente, influenciar na maneira como uma determinada forma pode ser explorada posteriormente.

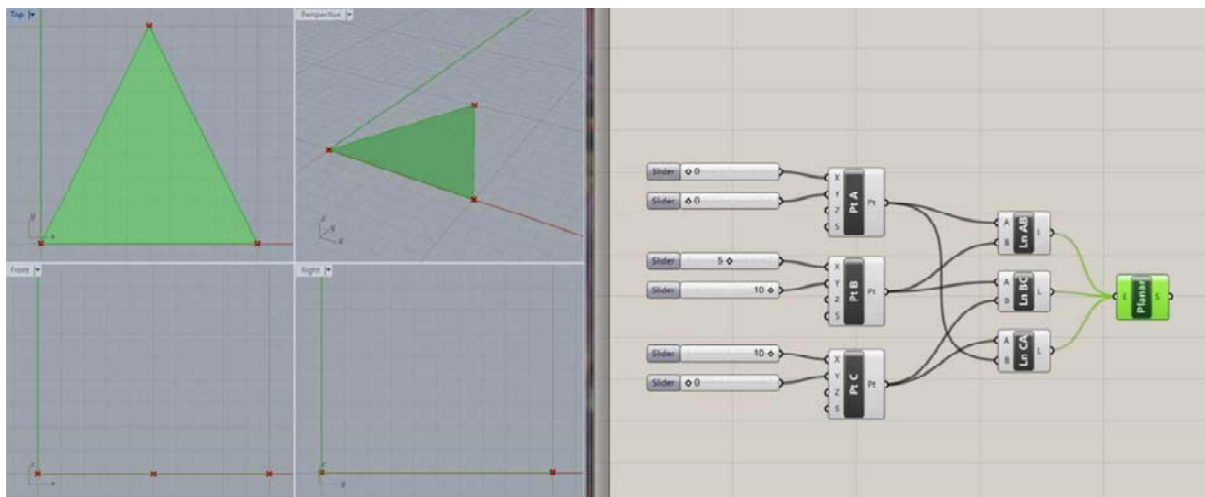


Figura 67: Construção do triângulo: ponto, linha e plano.
Fonte: autor

Triângulo: A representação de uma forma triangular permite que o aluno trabalhe com três elementos de base: o ponto, a linha e o plano, observando a interdependência entre eles (fig.68). Nessa etapa inicial, aborda-se a questão de um mesmo elemento ser construído de diferentes maneiras e, também, como distintas abordagens de construção permitem um controle e manipulação particular dos parâmetros definidos. No caso do triângulo, sua construção poderia ser definida tanto pela posição de seus vértices, como pela definição do número de lados de um polígono. A partir dessa constatação, discute-se a necessidade de abordar o projeto como um processo lógico em que as partes e o todo estão relacionados e que a definição de um conteúdo projetivo mais detalhado fornece maior liberdade para a exploração de possíveis variações, tendo como base o mesmo modelo.

No caso da abordagem trabalhada com os alunos, a definição, a partir das coordenadas "x" e "y" de cada vértice do triângulo, permite explorar variações bidimensionais do mesmo modelo, possível para variação dos valores atribuídos à posição dos pontos (fig.69).

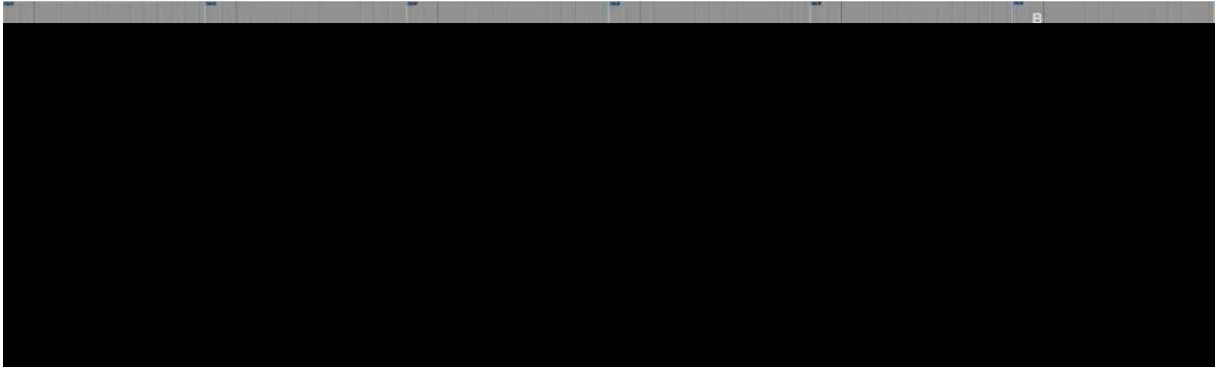


Figura 68: Variações do triângulo.
Fonte: autor

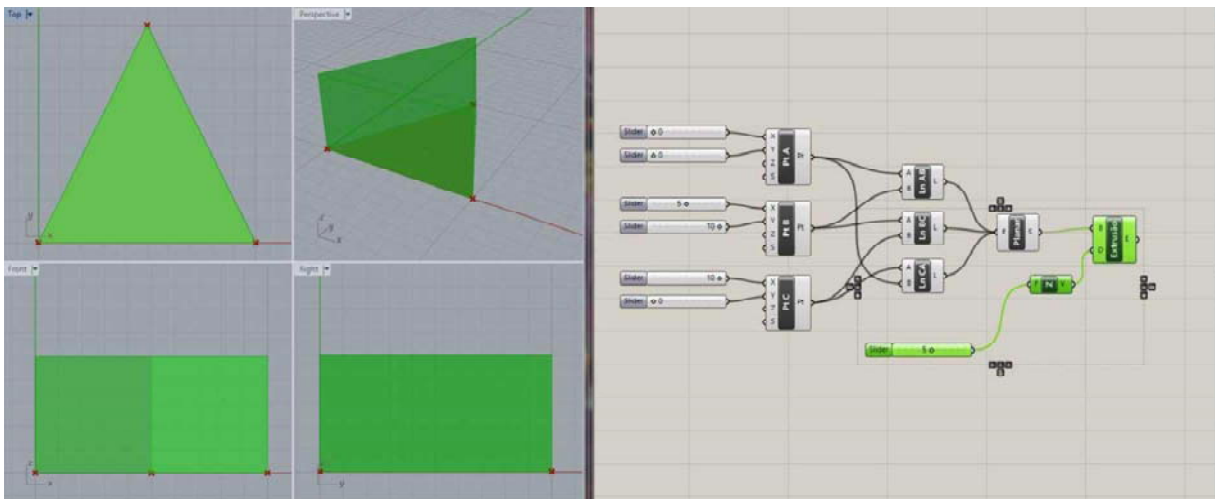


Figura 69: Extrusão do triângulo.
Fonte: autor

Translação, rotação e loft: Esse terceiro sólido é gerado por uma superfície de translação, ou seja, por uma operação de loft. Para tal é necessário fazer uma cópia do triângulo, obtida pela translação do mesmo e, em seguida, definir sua rotação, isso permite que o triângulo superior rotacione, gerando diferentes configurações de faces com forma de parabolóide hiperbólico (fig.72). Nesse caso, apesar dos componentes de movimento e rotação serem novos para os alunos, o processo de parametrização, dada pela distância entre o triângulo superior e inferior e o ângulo de rotação, já havia sido trabalhada nas etapas anteriores. Nesse caso os alunos também trabalham com definições de restrições ao determinarem, na edição do parâmetro, que ângulo de rotação seja entre zero e 120 graus para que as

retas do lado do triângulo mantenham a propriedade de serem reversas, proporcionando a geração de um parabolóide hiperbólico.

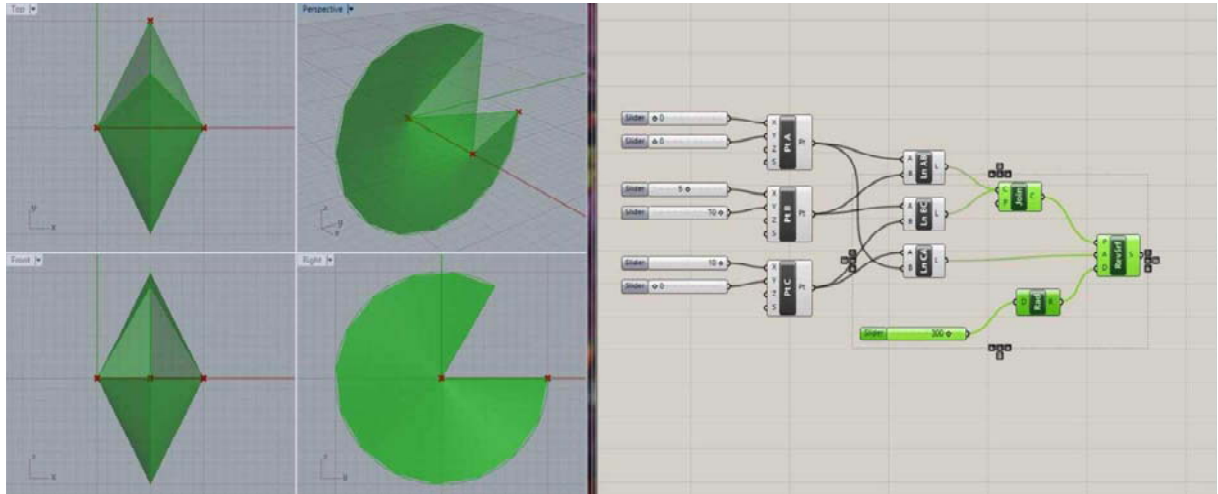


Figura 70: Revolução do triângulo.
Fonte: autor

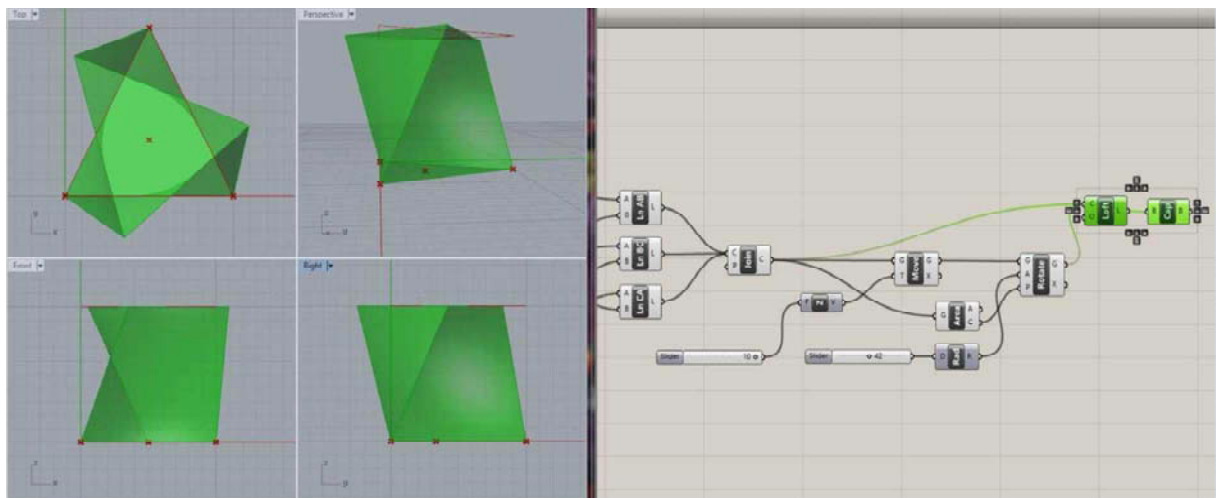


Figura 71: Superfície de translação.
Fonte: autor

Translação, rotação e loft: Esse terceiro sólido é gerado por uma superfície de translação, ou seja, por uma operação de loft, para tal é necessário fazer uma cópia do triângulo obtida pela translação do mesmo e em seguida definir sua rotação, isso permite que o triângulo superior rotacione gerando assim diferentes configurações de faces com forma de parabolóide hiperbólico (fig.72). Nesse caso a pesar dos componentes de movimento e rotação serem novos para os

alunos sua parametrização dada pela distância entre o triângulo superior e inferior e o ângulo de rotação já haviam sido trabalhados nas etapas anteriores. Nesse caso os alunos também trabalham com definições de restrições ao determinarem, na edição do parâmetro, que o ângulo de rotação seja entre zero e 120 graus para que as retas do lado do triângulo mantenham a propriedade de serem reversas, proporcionando a geração de um parabolóide hiperbólico,

Definição final dos três sólidos: A configuração do modelo é, portanto, dada por oito parâmetros variáveis, seis referentes à posição dos vértices (x , y) do triângulo, um indicando a distância na coordenada “ z ”, ou altura, e o último, o ângulo de rotação determinado entre 0 graus e 120 graus é convertido em radianos (fig.73).

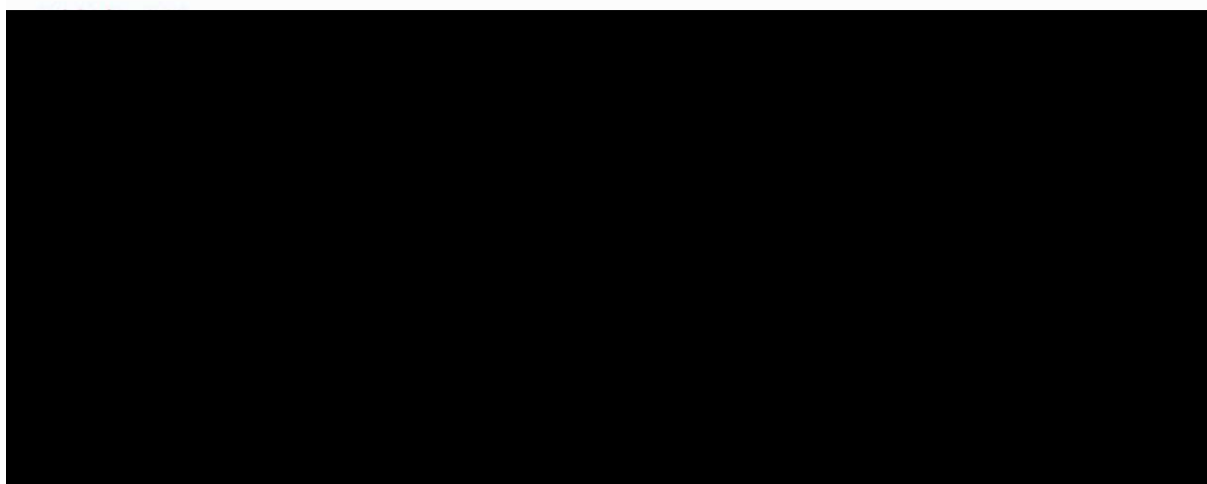


Figura 72: Definição final dos três sólidos.
Fonte: autor



Figura 73: Exemplos de variações dos sólidos.
Fonte: autor

Exploração de variações formais: Na última etapa desse exercício, os alunos trabalham com a busca de variações formais, obtidas pelo controle numérico dos parâmetros (fig.74).

Parametrização de dados gráficos

Nessa etapa, os alunos trabalham com um processo onde dados gráficos são trazidos para o ambiente paramétrico, servindo como dados de entrada para as próximas operações. Nesse exercício, como no anterior, são gerados sólidos por extrusão, revolução e superfície de translação e, nesse caso, trabalha-se com a representação de obras arquitetônicas. Foram selecionadas para o exercício três obras do arquiteto Oscar Niemeyer que representam os três diferentes processos de geração, o Museu Oscar Niemeyer (MON) de Curitiba, o Museu de Arte Contemporânea (MAC) de Niterói (1996) e a Catedral de Brasília (1970).



Figura 74: Museu Oscar Niemeyer (MON) de Curitiba, (2002), Museu de Arte Contemporânea (MAC) de Niterói (1996) e Catedral de Brasília (1970).

Fonte: < <http://www.archdaily.com.br> >



Figura 75: Seções das obras para modelagem.

Fonte: autor

Para realizar a atividade, os alunos receberam, em formato vetorial (fig. 76), as seções das referidas edificações, esses perfis eram importados para o Rhinoceros e, posteriormente, parametrizados no Grasshopper

Extrusão: Tendo-se a representação gráfica da seção transversal do prédio a extrusão é gerada a partir de um plano de superfície com a distância parametrizada na coordenada Y. Nesse caso, o uso do parâmetro curva permite coletar as linhas vetoriais no programa Rhino e realizar o restante da definição parametrizada no GH (fig.77).

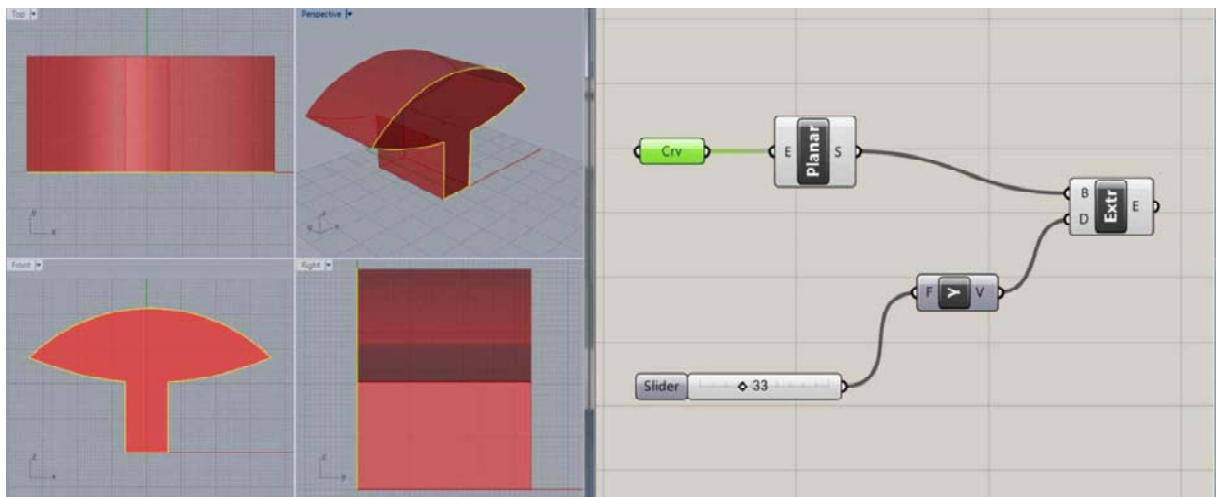


Figura 76: Extrusão da seção.
Fonte: autor

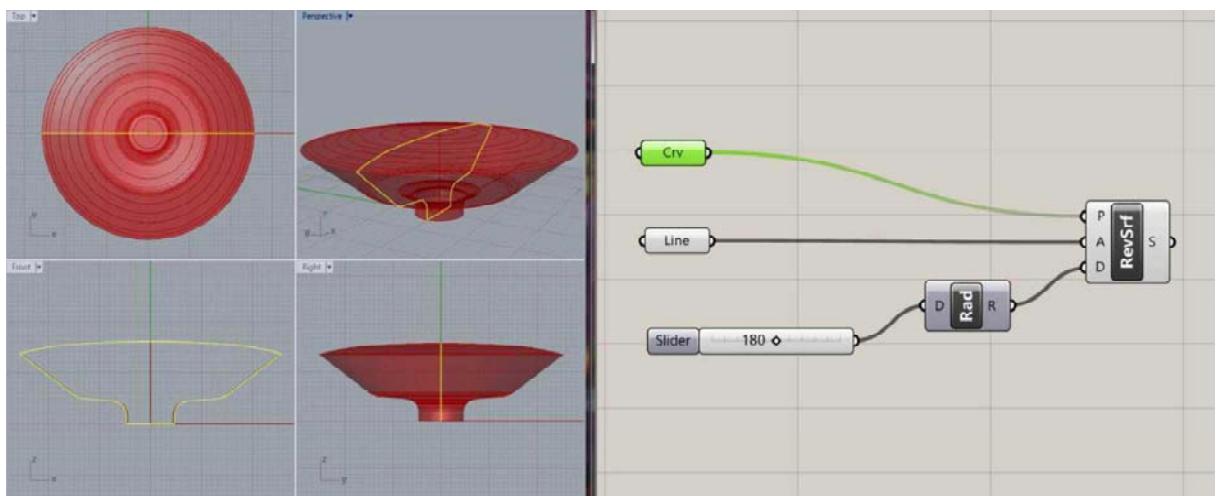


Figura 77: Revolução da seção.
Fonte: autor

Revolução: A partir da representação gráfica da seção axial do edifício é gerada uma superfície de revolução de maneira que o ângulo descrito por essa evolução esteja parametrizado, tendo como restrição a variação angular entre zero e 180 graus. O outro parâmetro gráfico definido nesse modelo é linha que do eixo de rotação, que é definida não ambiente do Rhino (fig.78).

Loft: Tendo-se a representação gráfica das circunferências que definem a base, o topo e a seção intermediária horizontal do prédio é gerada uma superfície de translação (fig.79).

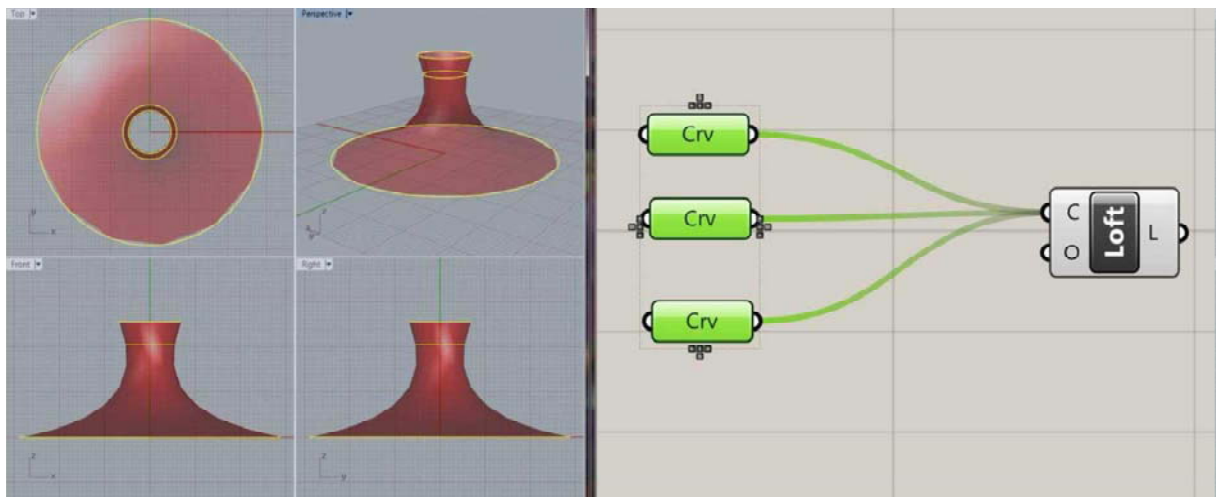


Figura 78: Superfície de translação da seção.
Fonte: autor

Exploração gráfica da forma parametrizada: As curvas gráficas, inseridas no ambiente do Rhino e parametrizadas no GH, podem, então, ser editadas em cada ambiente individualmente, mas mantendo sua relação geométrica. Isso significa que, se a curva vetor for alterada, a sua direção paramétrica irá acompanhar a transformação. A partir dos pontos de controle que definem a forma da curva gráfica e, também, das definições paramétricas é possível explorar, manualmente e numericamente, variações da forma (fig. 80).

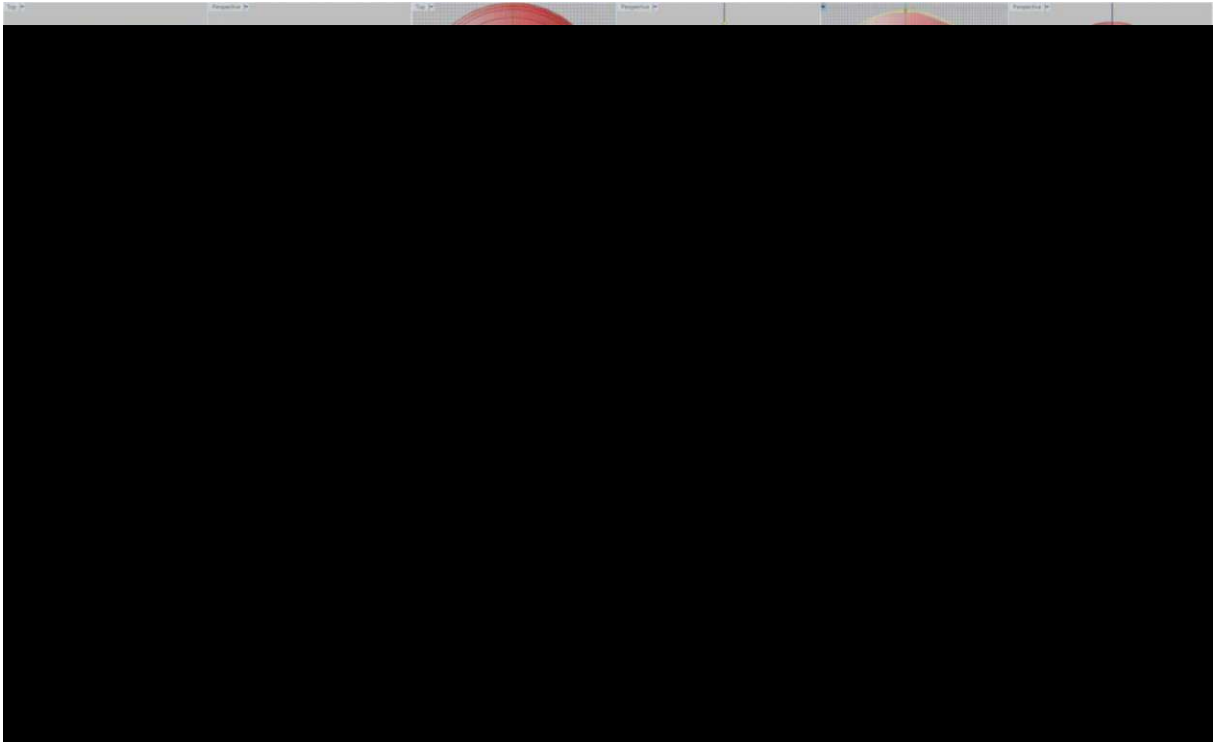


Figura 79: Manipulação de dados gráficos.
Fonte: autor

Padrões numéricos

A geração de padrões numéricos é apresentada como um meio de produzir um conjunto de valores, a partir de definição dos parâmetros variáveis. Nessa etapa, são trabalhados quatro padrões: série (series), extensão (range), aleatório (random) e sequência Fibonacci.

Esse exercício permite que os alunos observem que os valores numéricos, gerados por diferentes padrões, possibilitam trabalhar com configurações e variações da forma de maneira recursiva que podem ser particularmente única em cada instância, ou podem seguir uma variação regrada (fig. 81). As ferramentas de geração de séries e extensão numérica são aprofundadas nos exercícios de projeto, na etapa de definição paramétrica das peças para prototipagem rápida.



Figura 80: Exercício de geração de padrões numéricos.
Fonte: autor

Projeto

A atividade principal da oficina é o desenvolvimento de um projeto com base nos conhecimentos de desenho paramétricos apresentados. Nesse momento, os alunos trabalham individualmente ou em grupo para criar um determinado produto, exercitando os conhecimentos de geometria paramétrica. O exercício é dividido nas seguintes etapas: lançamento da ideia, modelagem paramétrica e maquete. Após as etapas de desenvolvimento, um dos projetos pode ser escolhido para a fabricação de um protótipo em escala real.

Fabricação digital: Antes de iniciar o projeto os alunos são apresentados às técnicas de fabricação digital para a construção do protótipo. O processo de divisão de sólidos em costela (waffle) é apresentado como uma solução para modelos maiores em que a complexidade da forma não permitirá sua planificação para produzir uma maquete convencional (fig.82 e 83) Nesse momento é importante para os alunos entrarem em contato com processos que viabilizem não só a materialização da forma gerada para uma seu estudo, como também para sua construção, identificando, assim, processos industriais de produção de peças customizadas para a construção civil.

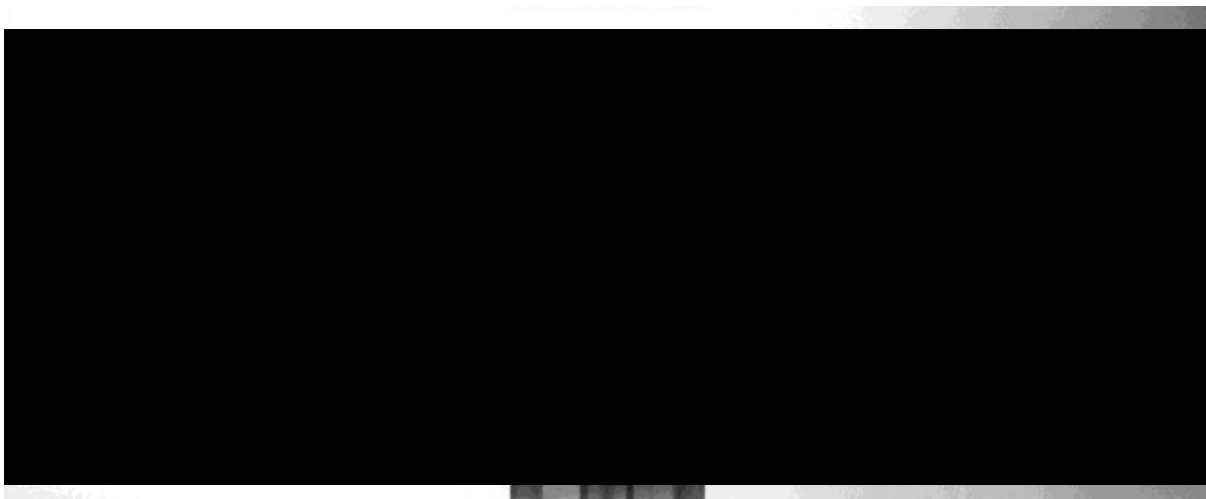


Figura 81: Maquete em costela do MAC.
Fonte: autor

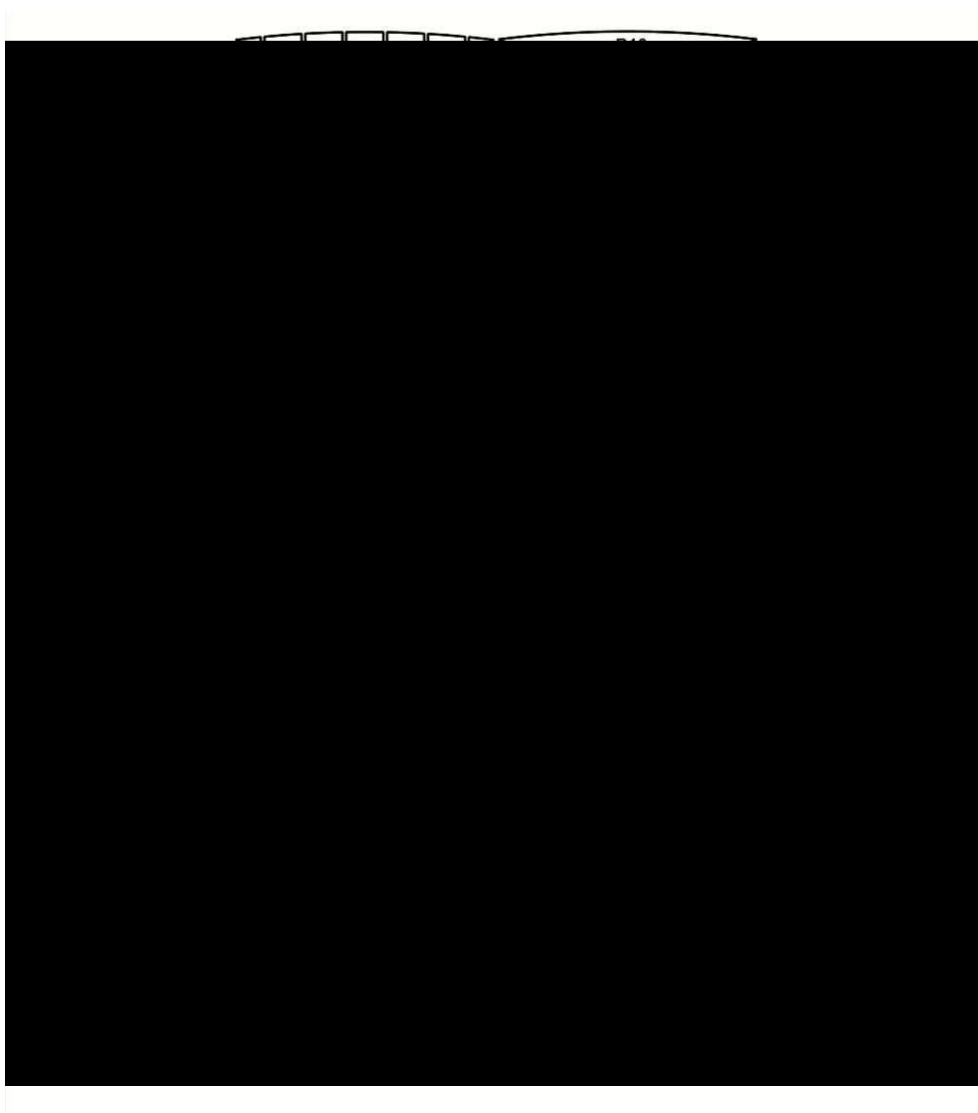


Figura 82: Peças para construção de estrutura em costela do MAC.
Fonte: autor

Produto: O objeto a ser projetado pode ser determinado anteriormente ou juntamente com os alunos; no entanto, deve levar em consideração o tempo e custo de fabricação das maquetes e do protótipo. Esses fatores também influenciam o nível de complexidade que deve ser controlado para que seja possível trabalhar todos os aspectos propostos na atividade.

Lançamento da ideia: A primeira abordagem ao projeto deve ser o desenvolvimento de uma ideia geradora, a qual pode ser representada por diferentes meios, croquis, fotografias, maquetes de estudo, etc. Em seguida, os alunos devem esquematizar o processo de construção geométrico da forma, e como essa deve ser parametrizada. Esse deve ser um período de discussões em grupo, quando os alunos devem ser assistidos, para que suas ideias possam ser desenvolvidas, de maneira que a definição do modelo seja feita com base na determinação parâmetros variáveis da forma.

Modelagem paramétrica: Com base na ideia desenvolvida, os alunos podem começar a modelar os objetos. Essa etapa é a que toma maior parte do tempo, pois os alunos devem aplicar as habilidades ferramentais e técnicas de desenho paramétrico, adquiridos durante as primeiras aulas. Como há particularidades em cada projeto, faz-se necessária a orientação individual dos alunos ou dos grupos, tanto por limitações que esses tenham com os programas de modelagem, como para acompanhar se o processo de parametrização está sendo aplicado corretamente.

Maquete: Tendo-se a forma final encontrada, trabalha-se com o modelo, para prepará-lo para produzir a maquete. As definições dos padrões de construção da maquete irão depender do tipo de técnica de fabricação digital que for escolhida. Nesse caso, definições paramétricas para diferentes métodos de adaptação do modelo podem ser fornecidas já prontas; entretanto, é necessário observar o resultado da sua aplicação, buscando qualquer erro de construção. A escolha do processo de construção da maquete também dependerá do tempo disponível, dado o tempo de ajustes que o modelo pode ter que receber.

Apresentação: Ao final da atividade, os alunos apresentam seus projetos, explicando seu processo e lógica de abordagem à construção geométrica do modelo.

Protótipo: Entre os projetos apresentados, um pode ser escolhido para construído em escala real. Essa alternativa deve proporcionar aos alunos um engajamento, no sentido de acompanharem a materialização de algo que foi projetado a partir de uma técnica inovadora.

2.2.2.3. Aplicação da atividade 02

A atividade foi aplicada em dois momentos, o primeiro ocorreu de 8 a 12 de abril de 2013, durante as atividades de IV Workshop Alfa Gaviota na UFPel, e o segundo entre os dias 25 de junho e 4 de julho, oferecido pelo Grupo de Pesquisas em Gráfica Digital (GEGRADI) / UFPel (fig.84)



Figura 83: Divulgação das oficinas de desenho paramétrico.
Fonte: autor

2.2.2.3.1. Atividade 02-A: oficina Alfa Gaviota

A atividade foi oferecida a comunidade acadêmica e profissional, sem que houvesse qualquer pré-requisito para os participantes. O grupo que fez parte dessa atividade era composto por estudantes e profissionais das áreas de arquitetura, design, informática e comunicação (fig.85). Ao todo foram cinco encontros de três horas e meia, totalizando 17,5 horas distribuídas em introdução teórica, exercícios práticos e desenvolvimento de projeto.



Figura 84: Oficina de Introdução ao desenho paramétrico oferecida pelo IV Worksho Alfa Gaviota, Abril, 2012. Ministrantes Gustavo Brod e Tássia Vasconcellos.

Fonte: autor

A principal atividade da oficina foi o desenvolvimento de um projeto chamado de “Banquinho 2.0”, quando a proposta foi que os alunos projetassem um banco pequeno. A escolha por essa peça de mobiliário deu-se por esse ser um objeto de baixa complexidade, que permitiria que os alunos pudessem resolver o projeto em um curto espaço de tempo. O banquinho foi definido como tendo dimensões limites de 40x40x45 cm, dessa maneira foi possível controlar o custo de fabricação do protótipo, além de fazer com que os alunos trabalhassem com restrições do espaço projetivo no desenvolvimento dos parâmetros.

Para a realização do projeto, os alunos dividiram-se em quatro grupos com três componentes e um grupo com dois componentes. Os grupos trabalharam com diferentes abordagens ao projeto proposto. O objetivo principal foi que os alunos definissem bem os parâmetros variáveis da forma, que estavam sendo trabalhados, o que permitiria que diferentes possibilidades formais fossem exploradas.

Um dos grupos (Grupo A) trabalhou utilizando elipses, representadas graficamente, que foram, então, parametrizadas para gerar um efeito de torção (fig. 86). As alternativas geradas limitavam-se à altura do banco dado pela distância de translação entre as elipses inferiores e exteriores que forma unidas por uma operação de loft, a torção do centro foi produzida determinando o ângulo de rotação das elipses superiores.

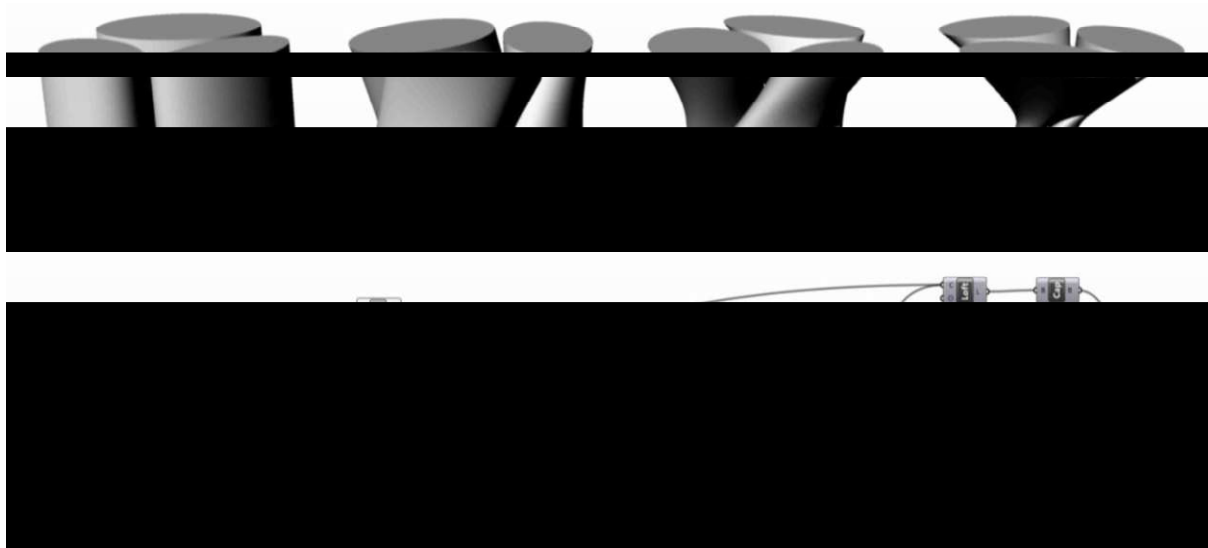


Figura 85: Variações geradas através da definição produzida pelo Grupo A.
Fonte: autor

Outro grupo (Grupo B) trabalhou utilizando o processo de construção por dados numéricos. A definição do modelo consistiu em gerar uma superfície de translação (loft), a partir de circunferências parametrizadas por sua altura (distância em “z”) e pelo seu raio (fig.87). Essa superfície foi depois multiplicada, gerando um padrão de quatro colunas entrelaçadas. Outros parâmetros como deslocamento em “x”, espessura e distanciamento entre colunas foram incorporados na definição (fig.88).

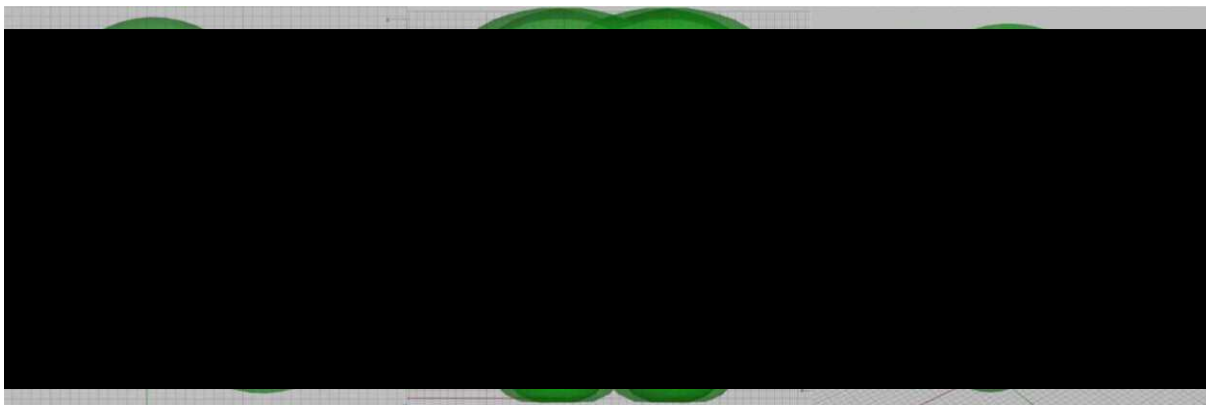


Figura 86: Modelo do Grupo 02.
Fonte: autor

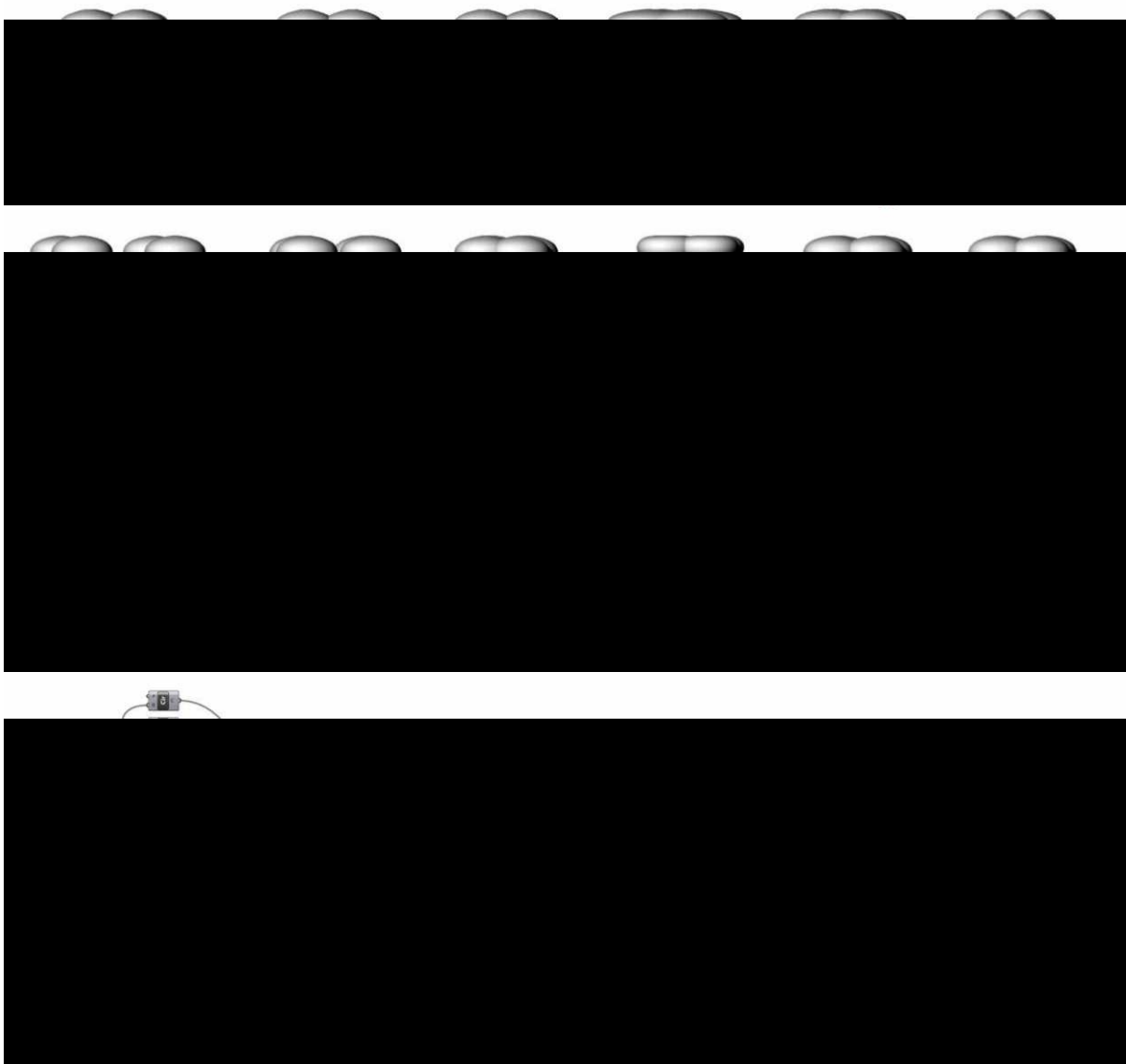


Figura 87: Variações geradas através da definição produzida pelo Grupo 02.
Fonte: autor

Ao final da terceira aula, cada grupo já possuía uma alternativa de projeto desenvolvida (fig.89). A partir da definição paramétrica do modelo, cada grupo testou e explorou variações de forma através do controle dos parâmetros.



Figura 88: Propostas de banquinho apresentadas pelos alunos.
Fonte: autor

O próximo passo foi trabalhar com os alunos processos de fabricação digital para a confecção das maquetes de estudo. Foi apresentada a técnica de recorte a laser, conhecida como costela (rib) ou waffle (fig. 90), em que o sólido tridimensional é dividido em dois grupos de seções perpendiculares entre si e no encontro entre cada peça é feito um recorte para o encaixe.



Figura 89: Modelo finalizado com definição de estrutura em costela e peças resultantes sem o recorte para encaixe produzido pelo Grupo C.
Fonte: autor

Esse processo é bastante longo e envolve um alto nível de complexidade; no entanto, para que os alunos pudessem visualizar o resultado de suas maquetes, foi feito uma apresentação passo a passo da parte inicial dessa técnica, que envolve a divisão das peças em que é possível definir parâmetros para o número de seções e espessura do material. O restante da definição de divisão em costelas foi entregue para os alunos já configurado, permitindo que eles unissem ao seu modelo, produzindo, então, as peças prontas para confecção da maquete. As maquetes foram recortadas a laser em papel paraná em um escala de 1/10 (fig.91).

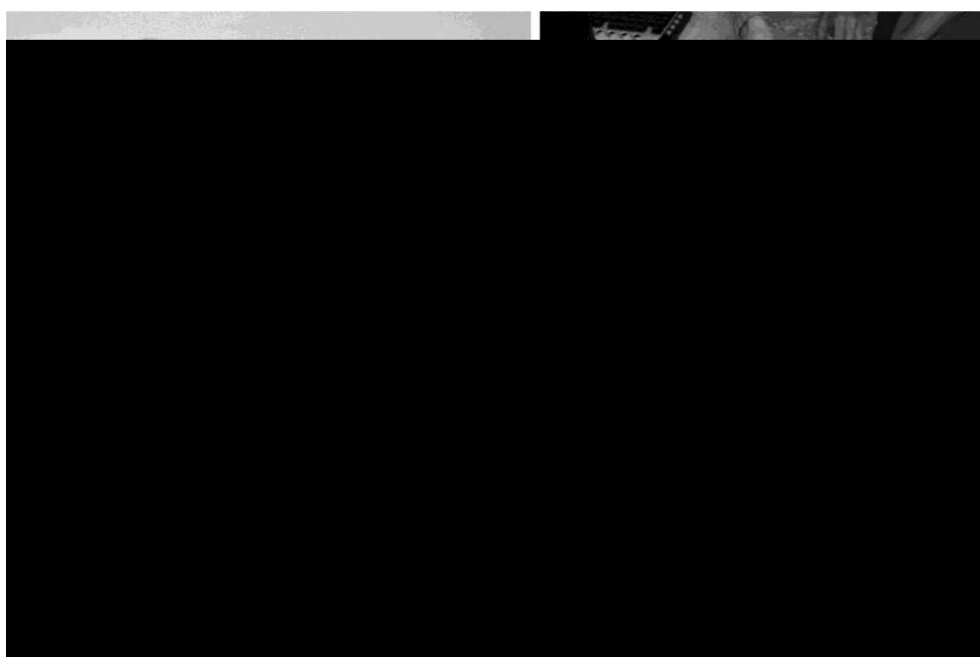


Figura 90: Montagem de maquete em escala 1/10.
Fonte: autor

Entre as propostas apresentadas uma foi escolhida para ser produzido um protótipo em escala real. O projeto (Grupo C) fabricado trabalhou com a ideia de uma gota e foi construído a partir da representação gráfica da curva que representa o perfil do banco, por operação de revolução produziu o sólido final. O protótipo foi confeccionado com 32 peças de compensado de três milímetros recortadas a laser (fig.92) e montados, posteriormente encaixando as peças de acordo com a ordem inscrita na peça. O produto final é um banquinho com estrutura em costela no sentido vertical (fig. 93) com a parte superior côncava e a base convexa, mas que poderia ser usado de ambos os lados (fig.94).

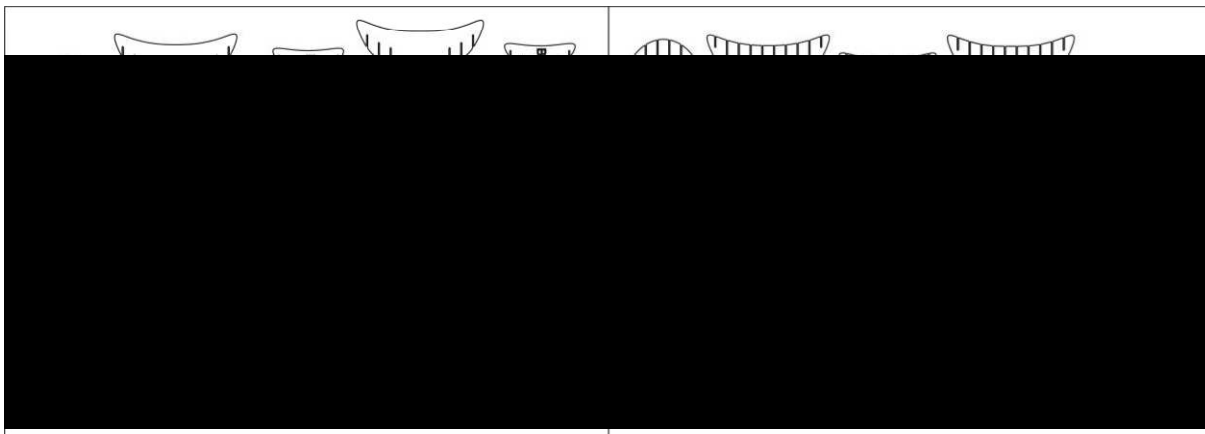


Figura 91: Peças para recorte na cortadora laser.
Fonte: autor

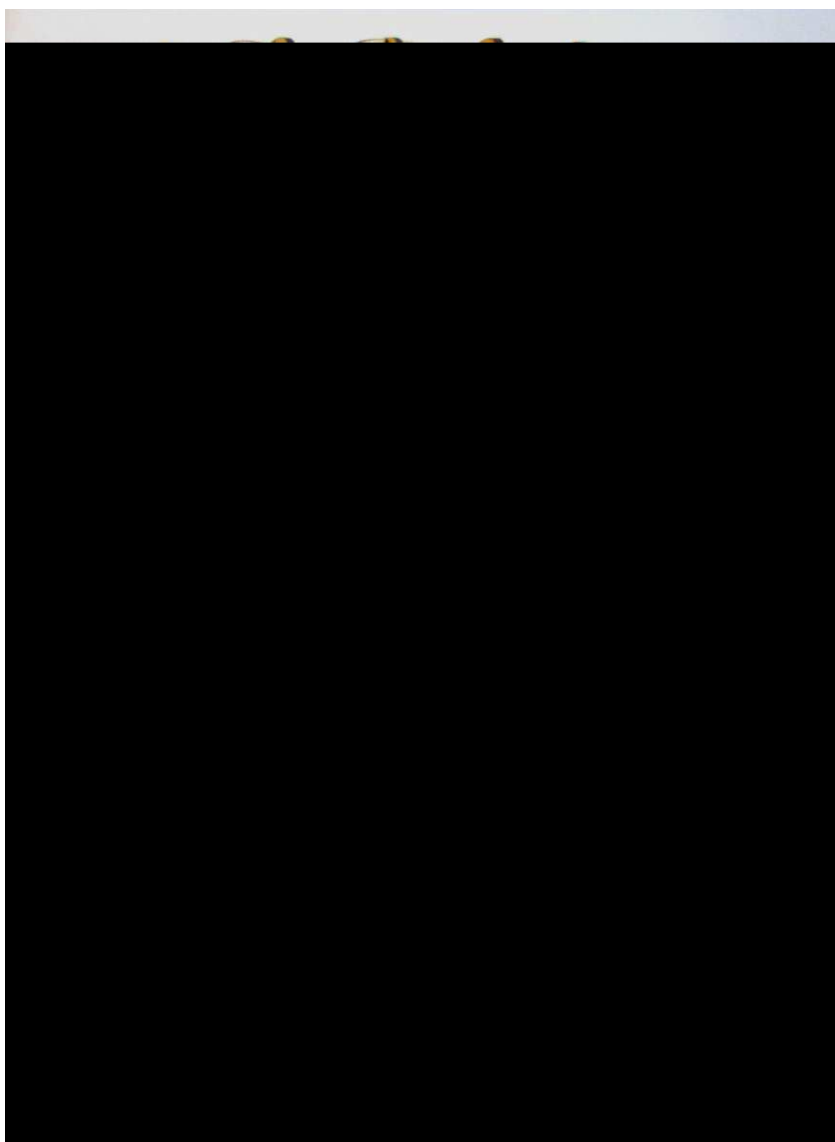


Figura 92: Protótipo do banquinho Gota.
Fonte: autor



Figura 93: Apresentação dos resultados da oficina.
Fonte: autor

2.2.2.3.2. Atividade 02-B: oficina GEGRADI

A segunda aplicação da oficina foi oferecida pelo GEGRADI / Ufpel e teve a participação de alunos de graduação em Arquitetura e Urbanismo / UFPel e do Curso de Especialização em Gráfica Digital / UFPel. Foram ao todo seis encontros de 3 horas e meia, totalizando 21 horas de aulas teóricas, práticas, de projeto, e de fabricação digital. As atividades seguiram o modelo apresentado na primeira oficina e foi estendido em mais um dia dedicado aos processos de impressão 3D.

Nessa atividade foi proposto que os alunos projetassem algum objeto pequeno com dimensões limitadas pela área de impressão 3D, ou seja, 10x10x10cm. As fases de projeto foram, respectivamente, o lançamento da ideia, modelagem paramétrica e impressão de maquete em escala reduzida. Ao todo foram cinco participantes, isso permitiu que os projetos pudessem ser desenvolvidos individualmente.

Um dos alunos trabalhou com a ideia de três xícaras empilhadas, juntas davam forma a uma caneca (fig.95). A construção geométrica foi feita a partir de

uma superfície de translação entre três círculos que dava forma a uma das xícaras que era então copiada e rotacionada, para adquirir o aspecto de estarem empilhadas.



Figura 94: Caneca a partir de xícaras empilhadas.
Fonte: autor

Os parâmetros variáveis, trabalhados pelo aluno, definiam o raio da boca, do meio, da base e também a altura da xícara. A indicação da altura significou que a relação de associação entre o elemento individual, a xícara, e o elemento completo, a caneca, deveria ser programado para que, quando a altura da xícara mudasse, a base da xícara, logo acima, deveria mudar consequentemente. Outro parâmetro explorado foi o raio que dá origem à superfície de translação, gerando formas mais arredondadas ou mais retas, dependendo da diferença entre os valores (fig.96).



Figura 95: Variações nos raios das xícaras.
Fonte: autor

Outro aluno trabalhou com um projeto para um de suporte para telefone celular. O desenho baseava-se em dois conjuntos de quatro arcos concordantes, unidos por uma superfície de translação (fig.97).

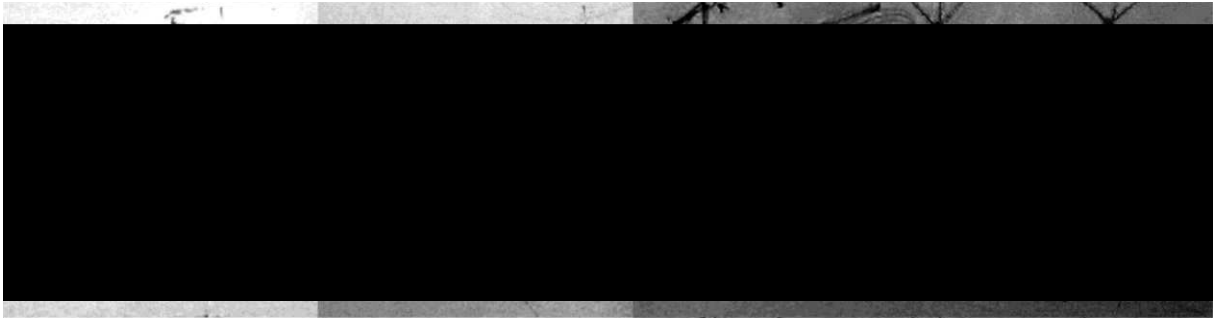


Figura 96: Croquis do projeto para um suporte de telefone celular.
Fonte: autor

Os parâmetros variáveis, definidos nesse projeto, eram, principalmente, relativos ao raio e posição de cada arco (fig.98), além disso, a associação entre elementos deveria ser tal, que a concordância deveria ser mantida, à medida que as dimensões fossem alteradas.



Figura 97: Exploração da forma de um suporte para telefone a partir da variação dos parâmetros.
Fonte: autor

Essa configuração paramétrica produziu uma forma orgânica que pôde ser explorada, observando aspectos de maleabilidade na forma. Apesar do projeto não ter sido finalizado como um objeto final, o modelo construído possibilitou inúmeras soluções formais (fig.99).



Figura 98: Exploração da forma de um suporte para telefone a partir da variação dos parâmetros.
Fonte: autor

No último dia da oficina, os alunos foram apresentados à técnica de impressão 3D e puderam acompanhar a confecção de suas maquetes em escala reduzida (fig.100).

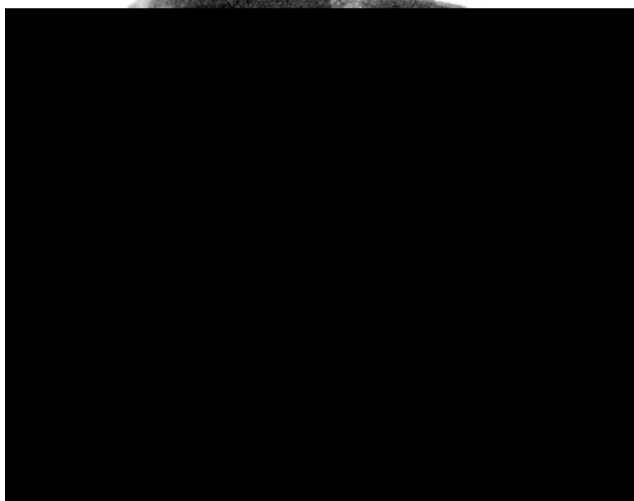


Figura 99: Maquete em escala reduzida realizada com impressão 3D.
Fonte: autor

3. Resultado e discussões.

Com base no trabalho, realizado no contexto da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFPel, foi possível analisar algumas questões que envolvem o ensino e aprendizagem de técnicas projetuais centradas no uso de mídias digitais, para a representação e exploração formal.

O estudo teve como base o desenvolvimento e experimentação de abordagens didáticas, que viabilizassem a introdução de conhecimentos referentes ao desenho paramétrico.

As ações praticadas nessa pesquisa buscaram ir ao encontro do que Fisher e Herr em *Teaching Generative Design* (2001) apontam como sendo as duas razões para a ausência do desenho generativo no ensino de projeto: a escassez de material introdutório e o fato de que a terminologia atribuída ao desenho generativo ainda é baseada em noções muito vagas. O que esses autores afirmaram, em 2001, pode ser visto ainda hoje no ensino de processos digitais para o projeto, no que se refere ao contexto do local estudado, como também nas escolas de arquitetura e urbanismo no Brasil, quando se verifica que a bibliografia sobre o tema tanto em português como em espanhol é extremamente rara.

Dessa maneira observou-se que o desenho paramétrico abrange, mais amplamente, os conceitos básicos do uso de sistemas generativos para o projeto, um dos motivos pelos quais tem ocorrido uma ampla disseminação do tema, no meio acadêmico, através de palestras e oficinas de projeto.

A partir dos experimentos realizados, é possível analisar o resultado da avaliação das atividades realizadas em de sala de aula (Atividade 01-A e 01-B) e como oficina de extensão (Atividade 02-A e 02-B).

3.1. Avaliação da atividade 01

De acordo com os questionários, com as opiniões e com as discussões, durante as aulas, foi possível identificar a receptividade altamente positiva por parte dos alunos que, ao longo das apresentações e exercícios, expressaram suas impressões e curiosidade sobre os métodos e técnicas do desenho paramétrico. Os experimentos com alunos de arquitetura e urbanismo contribuíram para compreender a dinâmica de ensino e aprendizagem de um processo que apresenta para o aluno uma nova técnica de desenho em uma interface totalmente nova e, principalmente, um processo inovador de lidar com a representação geométrica e o projeto de arquitetura. A tabela abaixo apresenta, as informações sobre cada atividade trabalhada (tab.5).

Tabela 5: Dados e exercícios referentes à atividade 01.
Fonte: autor

	ATIVIDADE 01	
	A	B
CONTEXTO	GGDIII / LNEO 1	GGDIII
EXERCÍCIO 4	-	REGISTRO DOS RESULTADOS

A primeira atividade em sala de aula (01-A), ainda que tivesse caráter de teste, foi fundamental para aprimorar a elaboração da atividade final (01-B). Naquele momento, era importante identificar e testar a abordagem ao tema, bem como o contexto em que essa estivesse inserida, a ideia foi buscar em duas disciplinas que lidam com os dois temas principais no campo do desenho digital, a geometria e a informática. A escolha por aplicar a atividade piloto (01-A) nas disciplinas de GGDIII 2012/1, e Informática I, 2012/1, proporcionou observar a relevância de desenho paramétrico nesses dois campos do conhecimento envolvidos. Além disso, a escolha por essas duas disciplinas permitiu observar aplicação da atividade com alunos em diferentes níveis de formação.

Ao final da aula, os alunos responderam questionários (anexo 01) que permitiram avaliar a atividade. Ao todo 21 alunos, sete de GGDIII e 14 de Informática I, responderam as perguntas sobre a participação na atividade (01-A). De todos os alunos apenas dois responderam que conheciam o programa Rhino e nenhum o GH, enquanto isso, todos demonstraram interesse em aprender mais sobre o desenho paramétrico e todos consideraram essa uma abordagem relevante para o processo criativo. Entre os comentários registrados pelos alunos, alguns se destacaram por demonstrarem grande entusiasmo pela técnica trabalhada e identificam o interesse dos alunos sobre o desenho paramétrico; “Ótimo, pois dá liberdade para criação.”; “Facilita muito; como havia comentado em aula, para um projeto que estou desenvolvendo, seria muito útil para chegar a um melhor resultado.”; “Ótima interatividade, podemos experimentar e visualizar.”.

Uma das questões mais relevantes analisada nos questionários respondidos foi a relação entre o nível de formação do aluno e o grau de dificuldade atribuído por ele à atividade (01-A) exercitada. Ao analisar essas duas informações foi possível observar que alunos de GGDIII, do segundo semestre, em sua maioria, consideram a atividade como nível 4 de dificuldade (difícil), enquanto isso alunos de Informática I, do quinto semestre, atribuíram nível de dificuldade 3 (regular) para os exercícios propostos, isso permite observar que, de maneira geral, o aluno de Informática I, que está no curso há um ano e meio a mais que o aluno de GGDIII, atribuiu um nível de dificuldade apenas um grau menor do que alunos que cursam o segundo semestre de arquitetura. No entanto, ao analisar o segundo maior grupo de avaliações de alunos de GGDIII, observa-se que a atividade é classificada como muito fácil (nível 1) (fig.101).

A segunda instância de experimentos (01-B) com alunos de GGDIII, 2012/2, a pesar de manter a mesma abordagem ao desenho paramétrica, foi adaptada em alguns aspectos, tendo como base para isso a avaliação da atividade piloto (01-A). As diferenças principais foram o tempo de atividade, que passou de uma aula para duas, o exercício de busca de variações do modelo e a sistematização do registro de resultados das práticas. Além disso, o questionário aplicado, nesse segundo momento, buscou uma análise mais compreensiva da atividade e das opiniões dos

alunos, em relação ao desenho paramétrico. Isso significou que o aluno deveria avaliar não só o nível de dificuldade dos exercícios em si, mas também o nível de dificuldade com base no seu desempenho, bem como diferentes questões que envolveram o trabalho com desenho paramétrico.

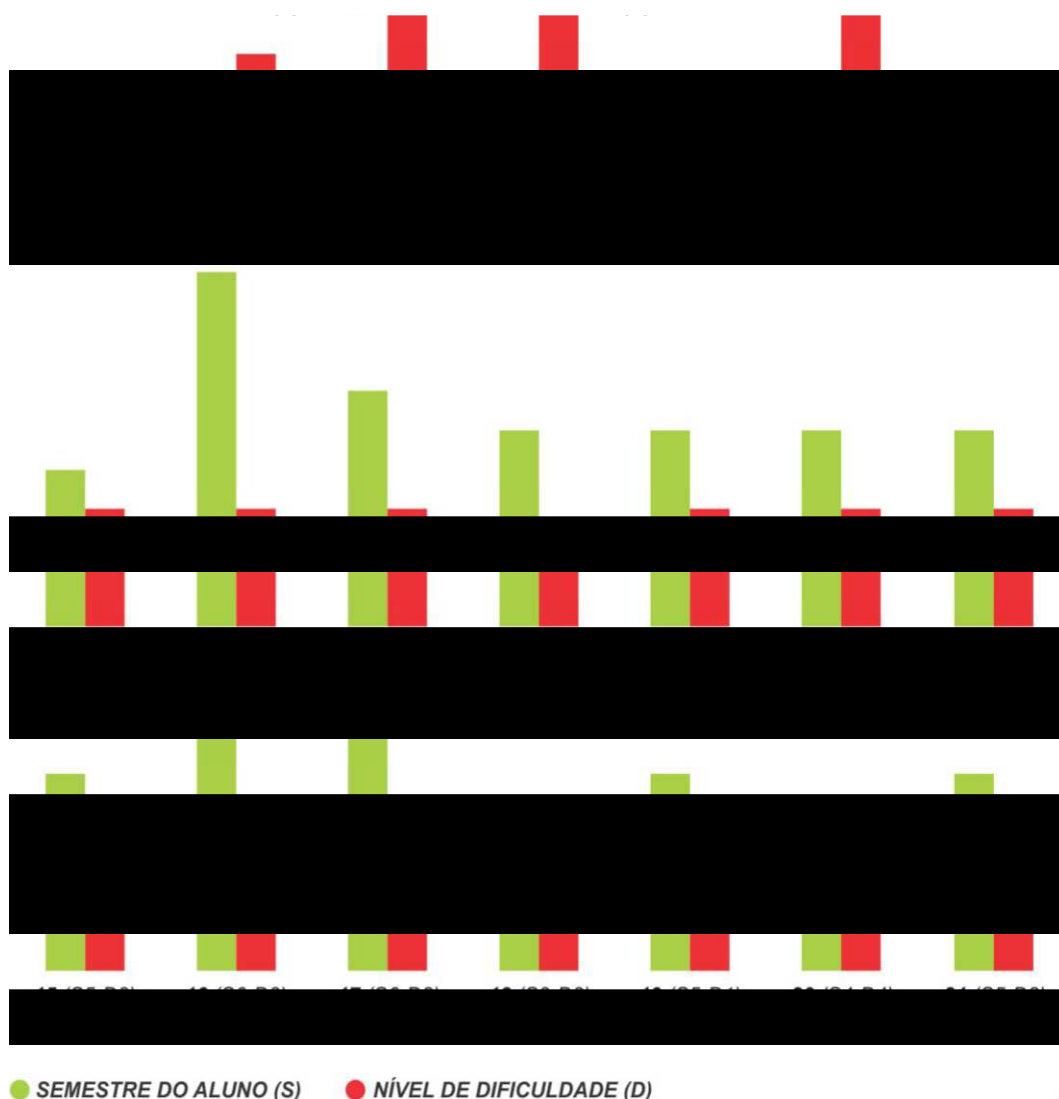


Figura 100: Atividade 01-A: GGDIII e Informática I, 2012/1. Semestre e nível de dificuldade.
Fonte: autor

O segundo questionário (01-B) (anexo 02) foi respondido por sete alunos da turma de GGDIII 2012/2, e, com base nas informações fornecidas, é possível verificar uma clara diferença na relação entre o nível de formação do aluno e o grau de dificuldade atribuído à atividade. Dessa vez a maioria dos alunos considerou

regular (nível 3) a dificuldade da atividade como um todo, e um aluno classificou a atividade como muito fácil (nível 1) (fig.102).



Figura 101: Atividade GGDIII 2012/2: semestre e nível de dificuldade.
Fonte: autor

Nesse caso, dois fatores podem ser considerados como responsáveis pela classificação da atividade como regular no nível de dificuldade. O primeiro é o tempo, com uma aula a mais foi possível estender e especificar as etapas dos exercícios, bem como dar mais atenção às dificuldades particulares de cada aluno. Outro motivo considerado foi a sistematização do exercício; enquanto a atividade piloto (01-A) trabalhou com uma exploração livre, em que o aluno manipulava o modelo para encontrar variações aleatórias, ou que lhe parecessem interessantes, o exercício oferecido na turma de GGDIII 2012/2 o mesmo procedimento de busca de variações foi feito de maneira controlada, já que o aluno deveria reproduzir a forma das obras de referência.

Nesse segundo grupo (01-A), como no primeiro (01-B), os alunos expressaram seu entusiasmo pelo processo paramétrico, durante o decorrer da aula, comentando sobre os resultados obtidos. Através do questionário, foi possível verificar depoimentos que demonstram não somente um grande interesse do aluno em conhecer mais sobre a técnica, como o entendimento da contribuição que o uso de processos paramétricos dá para o estudo da geometria e, consequentemente, para o projeto. Alguns relatos de alunos expressam essa ideia: “Muito satisfeita, pois com as habilidades adquiridas fica bem mais fácil entender as formas geométricas.”,

“Com a variação dos parâmetros é possível ter uma maior visão das possibilidades de projetos de arquitetura.”, “Muitos de meus projetos eu tive que simplificar algumas formas, pois não conseguia representá-los e justificá-los em plantas ou em 3D as formas mais curvas e arrojadadas.” “Aliados a um software com uma interface amigável creio que não só edifícios como objetos comuns podem ganhar novas formas, até então pouco exploradas.”.

Outros aspectos dessa atividade (01-B) foram analisados quanto ao grau de dificuldade, o uso do programa de desenho paramétrico Grasshopper. Foram verificadas: a aplicação dos conhecimentos de geometria, a compreensão dos princípios de parametrização e a obtenção do resultado formal desejado. Entre essas, as questões geométricas foram as que ofereceram menor dificuldade e a maior foi a compreensão dos princípios do desenho paramétrico, no entanto todas as quatro categorias foram classificadas com um nível de dificuldade entre 45% e 60% (fig.103), confirma a avaliação da atividade, como um todo, como em um grau de dificuldade baixo a regular.



Figura 102: Nível de dificuldade em quatro aspectos estudados.
Fonte: autor

Outra questão apresentada, no questionário, estava relacionada com as áreas de interesse que se destacaram durante a aula. Nesse aspecto, os alunos tomaram como base sua experiência, durante o exercício para selecionar de um grupo, três áreas que eles consideraram de maior importância para a compreensão do desenho paramétrico. A avaliação das respostas dos alunos demonstrou que a grande maioria considerou a geometria como a área de maior importância; em

segundo, a representação gráfica digital, em seguida assuntos ligados especificamente ao projeto digital, como linguagem de programação, conceitos paramétricos e prototipagem rápida (fig.104).



Figura 103: Áreas de conhecimentos mais relacionadas com a atividade
Fonte: autor

A receptividade positiva dos alunos nesse segundo experimento fica ainda mais clara, quando se observa o altíssimo nível de satisfação e interesse dos alunos, principalmente em comparação com os níveis de dificuldade (fig.105).

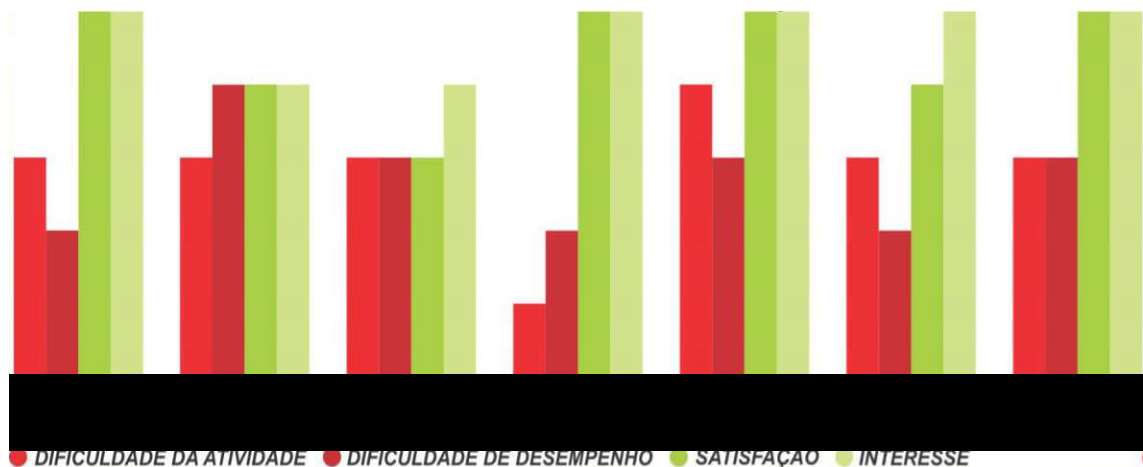


Figura 104: Níveis de dificuldade, satisfação e interesse.
Fonte: autor

As questões sobre a relevância do desenho paramétrico para o processo criativo e para a compreensão da geometria tiveram 100% de respostas positivas. Os alunos consideraram o desenho paramétrico e a ferramenta utilizada como um meio extremamente produtivo no campo da geometria e do projeto. Alguns alunos demonstraram essa ideia citando relatos sobre como as técnicas estudadas

contribuiriam em situações de projeto enfrentadas por eles. A atividade aplicada com alunos de GGDIII 2012/2 demonstrou que foi possível apresentar e exercitar conceitos de desenho paramétrico para esses alunos em fase inicial de formação, revelando, ainda, um grande interesse nesse grupo em aprender mais sobre métodos e técnicas generativas digitais.

3.2. Avaliação da atividade 02

Durante as oficinas de extensão (atividades 02-A e 02-B,) a abordagem ao ensino e aprendizagem do desenho paramétrico teve um caráter mais livre, no sentido em que as atividades não foram determinadas por um currículo em particular e não estavam sujeitos à avaliação formalizada de resultados ou de aproveitamento. Além disso, o tempo dedicado às oficinas permitiu uma introdução teórica mais elaborada, apresentando, mais compreensivamente, alguns conceitos como o de sistemas generativos, algoritmos e associação geométrica. A tabela abaixo apresenta resumidamente informações e etapas trabalhadas (tab.6).

Tabela 6: Dados e exercícios referentes à atividade 02.
Fonte: autor

	ATIVIDADE 02	
	A	B
CONTEXTO	MULTIDISCIPLINAR	ARQUITETURA
EXERCÍCIO 4	PROJETO (40X40X45 CM)	PROJETO (10X10X10 CM)

Outro fator característico da atividade em formato de oficina foi de propiciar um exercício de um projeto, o que permitiu que os alunos transferissem os conhecimentos, adquiridos nas atividades práticas de apropriação da ferramenta, para o desenvolvimento de uma ideia que ao final seria fabricada. Esses aspectos motivaram os alunos a se engajar na atividade e nos trabalhos em grupo, discutindo ideias e elaborando desenhos e maquetes para produzir um objeto final.

A avaliação dessas atividades foi feita com base em questionários respondidos pelos alunos (anexo 03), e através da observação do desenvolvimento dos trabalhos. Ao todo dez alunos que participaram da oficina promovida pelo IV Workshop Alfa Gaviota (02-A) responderam o questionário que permitiu qualificar a ação e forneceu informações importantes para analisar a atividade.

Do grupo que respondeu ao questionário, a maioria era composta por arquitetos ou estudantes de arquitetura, mas estudantes de outras áreas como engenharia de produção, design gráfico e artes também responderam o questionário. Isso evidencia um grupo relativamente heterogêneo e difícil para se trabalhar com uma técnica totalmente nova para todos do grupo. No entanto esse fato foi que colocou, em um mesmo nível, um estudante de arquitetura do segundo semestre e um profissional de arquitetura, ou alguém de outra área. Isso ficou claro nos questionários que demonstraram que para 80% do grupo não faltaram conhecimentos prévios e que o nível de expectativa foi totalmente preenchido de acordo com 80% dos participantes, e ainda que 70% dos indivíduos considerou sua avaliação pessoal como inteiramente atendida pela atividade proposta (fig.106).

Do ponto de vista pedagógico, a eficiência metodológica da atividade foi classificada pelos alunos como estando entre 80% e 100%, além disso os alunos consideraram que não houve falta de conteúdo a ser apresentado (fig.106). Quando perguntados sobre as maiores dificuldades, 30% das pessoas considerou pouco tempo para desenvolver os projetos, para praticar mais e tirar dúvidas; 20% encontrou dificuldades com o programa, principalmente com a lógica e funcionalidade do Grasshopper; 20% considerou que as instruções foram, em alguns momentos, difíceis de acompanhar e que a disponibilização de um material com o passo a passo da atividade auxiliaria nesse sentido (fig.106).

Quanto ao desenvolvimento das atividades, foi possível identificar que os alunos se interessaram e estavam engajados em projetar, considerando a modelagem paramétrica em mente. As discussões e opiniões dos alunos, no decorrer da atividade, demonstraram um grande interesse do grupo em saber mais sobre processos de desenho paramétrico e arquitetura digital.

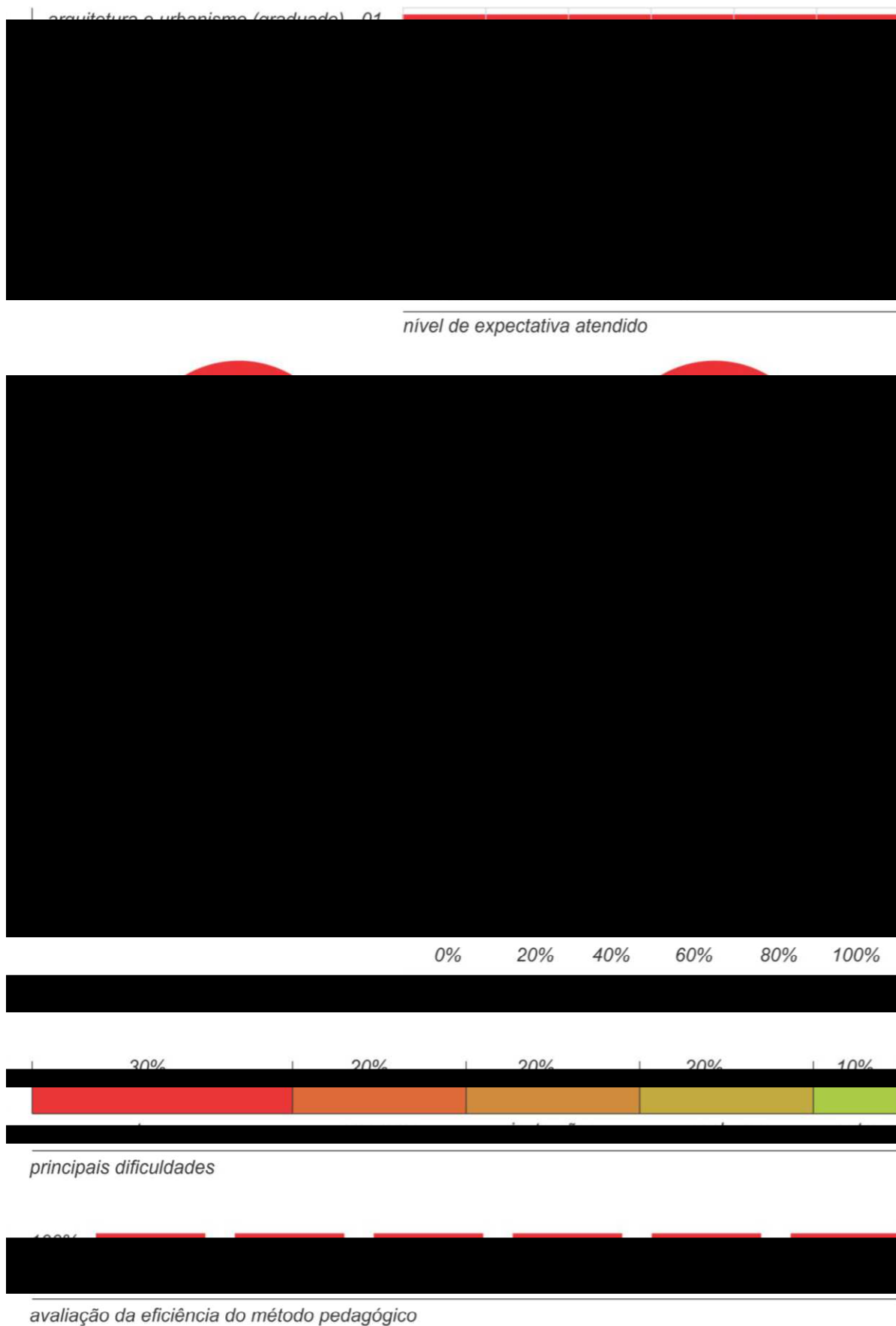


Figura 105: Dados fornecidos pelos questionários.
Fonte: autor

3.3 Conceitos de desenho paramétrico

Essa pesquisa buscou responder se é possível introduzir, em estágios iniciais de formação em arquitetura e urbanismo, princípios e conceitos de sistemas generativos em geral e especificamente do desenho paramétrico. Com base no levantamento bibliográfico e nos experimentos e questionários aplicados ao longo da pesquisa, verificaram-se conceitos ou ideias que estão ligados de maneira direta ou indireta às atividades desenvolvidas. Os conceitos listados configuram algumas noções fundamentais ao projeto digital e foram trabalhados de uma maneira ou outra ao longo das aulas e oficinas.

Na tabela abaixo (tab.7) são apresentados conceitos que puderam ser identificados, com base nos questionários respondidos pelos alunos. A listagem foi ordenada de acordo com a incidência de menções às ideias verificadas e a nomenclatura atribuída a cada conceito, buscou abranger as expressões utilizadas pelos alunos e incluir variações terminológicas baseadas na bibliografia estudada.

Tabela 7: Conceitos ordenados por incidência com base nos questionários e variações de termos e expressões que os explicam.

Fonte: autor

	FACILIDADE DE REPRESENTAÇÃO, AMPLIAÇÃO DAS POSSIBILIDADES
PARÂMETRO (4)	PARÂMETROS DE GERAÇÃO, VARIÁVEIS, RESTRIÇÕES
DESEMPENHO (4)	CONSTRUÇÃO GEOMÉTRICA, COMPREENSÃO DA FORMA, VISIBILIDADE
INTERDEPENDÊNCIA (2)	LIGAÇÃO, RELAÇÃO, ASSOCIAÇÃO
ALGORITMO (1)	ETAPAS, PROCEDIMENTO

Nota-se que a grande maioria dos alunos expressou liberdade à experiência com o desenho paramétrico. De acordo com os depoimentos analisados, é possível verificar que a ideia de liberdade agrupou dois conceitos particulares ao desenho paramétrico; um ligado às questões da forma em si e, outro, às propriedades gráficas de interação e controle do modelo paramétrico.

Para os alunos a abordagem paramétrica oportuniza uma ampliação das possibilidades criativas, devido à facilidade na representação de formas arquitetônica, que não poderiam ser obtidas através de métodos tradicionais de desenho, essa ideia está intrinsecamente ligada a outro princípio básico que é a possibilidade de manipulação dinâmica da forma, o que, de acordo com os alunos, propicia uma nova experiência exploratória ao processo de projetar.

Em segundo lugar, foi verificada a menção a noções de multiplicidade, ou seja, a possibilidade de obtenção de resultados diferentes, ou variações similares obtidas a partir de uma única definição base. Essa ideia também está conectada ao princípio de liberdade, no entanto em um sentido mais sistemático, em que a exploração da forma está mais voltada para a articulação recursiva de parâmetros compositivos definidos previamente na construção de um modelo primitivo.

As próximas cinco ideias elencadas ocupam o terceiro lugar e, junto às ideias restantes, englobam características atribuídas à ferramenta de desenho paramétrico e suas propriedades compositivas estão processualmente relacionados entre si. As possibilidades de construção de uma forma, realizada através da definição precisa dos parâmetros variáveis e das relações geométricas entre os elementos compositivos, por meio de um sistema de programação visual, apresentou para os alunos uma nova camada no processo de representação.

Além dos fundamentos expostos pelos alunos, outros conceitos básicos foram trabalhados nas atividades. Essas ideias puderam ser verificadas na bibliografia pesquisada e os termos que as designam foram grifados ao longo do texto de revisão.

As atividades didáticas foram elaboradas considerando a articulação desses conceitos básicos e a verificação de sua relevância e participação no processo de ensino e aprendizado. A análise realizada produziu uma tabela (tab.8), em que abrange os fundamentos trabalhados, com o objetivo de classificar e descrever esses princípios de acordo com sua aplicação nos exercícios de introdução ao desenho paramétrico. Os conceitos foram listados e caracterizados com base nos experimentos seguindo estes fatores:

a) se estão ligados especificamente ao desenho paramétrico, ou se podem ser expandidos à noção de sistemas generativos como um todo. O desenho paramétrico é compreendido como uma metodologia específica dentro de um campo mais abrangente de sistemas generativos digitais, alguns conceitos verificados podem ser considerados como noções básicas referentes às duas áreas de interesse simultaneamente; no entanto, as propriedades específicas, atribuídas ao desenho paramétrico, indicam que alguns conceitos estão ligados mais fortemente aos processos de modelagem associativa por parâmetros.

b) se foram apresentados, na atividade, de maneira explícita ou implícita. Os conceitos apresentados, explicitamente, foram ideias e propriedades do desenho paramétrico que foram demonstradas ao longo da realização dos exercícios. Os conceitos implícitos foram noções mais abrangentes que fizeram parte de desenvolvimento da atividade, trabalhados de maneira subjetiva.

c) e por último, uma explanação resumida de como tais conceitos foram trabalhados na atividade proposta. Exemplos de ações, em que tais conceitos, interpretavam uma parte central para a realização e compreensão da atividade, de maneira que alguns estão ligados a uma ferramenta ou processo específico, e outros direcionados para um entendimento mais abrangente dos procedimentos e da atividade como um todo.

3.5. Discussão

Os experimentos realizados permitiram analisar os processos geração e desenho paramétrico, sob um ponto de vista introdutório, em que foi possível observar a receptividade e grau de compreensão de alunos em fase inicial de formação. O foco do estudo esteve baseado nesse grupo de estudantes iniciantes por dois motivos: primeiro porque se acreditou que o aluno que está no começo do curso de arquitetura e urbanismo ainda não criou uma conexão mais forte a uma ou outra ferramenta de desenho ou a um processo de projeto em particular; segundo porque se entendeu que abordagens generativas digitais lidam com conceituações, metodologias e técnicas que são amplas no sentido das áreas de conhecimento que elas envolvem e avançadas no sentido tecnológico, portanto noções básicas a seu respeito devem ser apresentadas no início do curso com objetivo de criar fundações para o desenvolvimento desse aprendizado.

Foi possível constatar que, de acordo com o resultado das atividades, a compreensão dos conceitos relativos ao desenho paramétrico, em uma atividade introdutória, não está, necessariamente, dependente de conhecimentos prévios do aluno. Como foi verificado, tanto alunos de GGDIII do segundo semestre, como alunos de Informática I do quinto semestre e profissionais de arquitetura apresentaram níveis similares de compreensão sobre o tema. A assimilação dos conceitos relativos a diferentes etapas das atividades trabalhadas pôde ser validada a partir dos depoimentos dos alunos e dos produtos apresentados.

As atividades foram direcionadas à introdução ao desenho paramétrico através do exercício dos conhecimentos de geometria com isso as ações realizadas na disciplina de GGDIII lecionada como parte do estágio docente serviu eixo para a elaboração dos experimentos de sala de aula (atividade 01). Nas oficinas de extensão (atividade 02) que propôs a ideia de projetar um objeto, não houve a pretensão de que aquela se consistisse em uma ação projetual efetiva, pois os estudos se restringiram à geometria tendo havido pouco estudo de ergonomia ou conceitos de projeto.

É possível verificar que os exercícios propostos contribuem para a demanda apresentada por Fischer e Herr (2001) no sentido em que apresentam abordagens introdutórias ao desenho paramétrico que foram testados e qualificados. Através das atividades trabalhadas foi possível exercitar alguns conceitos básicos referentes ao desenho paramétrico que puderam ser explicitados ao longo dos exercícios e dessa maneira caracterizar alguns termos que são chave para a compreensão das ideias fundamentais para o ensino e aprendizado de processos de geração digital da forma.

Estes experimentos didáticos demonstraram um movimento no sentido de alcançar o que foi apontado por Oxman (2008) quanto ao caráter interdisciplinar e voltado para aquisição de conhecimento que o ensino de projeto de arquitetura digital deve proporcionar. Nesse sentido foi possível verificar o reconhecimento por parte dos alunos da disciplina de geometria que expressaram que as habilidades trabalhadas durante as aulas de introdução ao auxiliaram na compreensão da geometria e que dessa maneira poderia auxiliar a resolver alguns dos problemas enfrentados nas disciplinas de projeto.

O pensamento de Mitchell (1975) sobre o uso de sistemas generativos para a produção de inúmeras soluções projetivas é demonstrado nas atividades à medida que os alunos foram capazes de modelar formas complexas por meio de configuração paramétrica e dessa maneira manipular variáveis para sistematicamente produzir variações formais. Essas atividades auxiliaram os alunos a praticar noções de lógica, organização algorítmica e habilidades ferramentais aplicadas às ações de construção geométrica de modo que podem ser transferíveis à experiência de projeto. Dessa maneira o processo reflexivo que Schön (1983) atribuiu ao processo de projeto encontra o que Mitchell (1989) quis dizer sobre sistema CAD verdadeiramente criativo só ser possível quando o projetista estiver consciente de suas ações enquanto projeta.

CONCLUSÃO

Essa pesquisa propôs-se a analisar questões metodológicas conceituais e tecnológicas referentes ao ensino e aprendizagem de desenho paramétrico com foco em estágios iniciais de formação em arquitetura e urbanismo. O estudo dividiu-se em duas partes: primeiro uma revisão bibliográfica sobre o estado da arte da interação entre os meios digitais, o projeto e o ensino de arquitetura e segundo, experimentos didáticos com o objetivo de observar a aplicabilidade e a compreensão das técnicas estudadas no contexto acadêmico da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas. Particularizou-se o estudo junto à disciplina de Geometria Gráfica Digital III durante o primeiro e segundo semestre letivo do ano de 2012.

A revisão permitiu reconhecer os conceitos de sistemas generativos e do desenho paramétrico para construir um referencial tanto para estruturar atividades como para avaliá-las. O estudo dos princípios generativos de projeto digital possibilitou tanto estabelecer um método de análise do potencial de atividades do desenho paramétrico, quanto delimitar os conceitos que podem trabalhados ao longo de uma prática didática.

Os experimentos realizados permitiram comprovar que a introdução de habilidades e conceitos de desenho paramétrico para alunos em estágios iniciais de formação é possível. Com base nos resultados dos experimentos também é possível afirmar que práticas voltadas ao estudo da geometria servem como um meio apropriado para abordar o tema de desenho por parâmetros.

Do ponto de vista metodológico foi possível perceber que uma abordagem ao desenho paramétrico em estágios iniciais de formação deve estar voltada às disciplinas de base e integrada ao currículo da disciplina. Além disso, entendeu-se que os métodos generativos digitais conferem ao contexto de ensino de projeto um caráter interdisciplinar. Com base no desenvolvimento dos experimentos e, principalmente, na opinião dos alunos constatou-se que em especial os conceitos

ligados às possibilidades compositivas e ao processo de projeto paramétrico foram bem assimilados.

O olhar tecnológico dessa pesquisa buscou analisar a receptividade de estudantes de arquitetura não só a uma nova ferramenta de desenho, mas a uma maneira inteiramente inovadora de projetar. Uma técnica que não só é visualmente distinta em sua interface de trabalho, mas que lida com habilidades e conceitos inteiramente diferentes do que a maioria dos alunos já experimentou.

A identificação dos conceitos fundamentais que devem ser trabalhados em atividades de caráter introdutório voltadas para estudantes em fase inicial de formação puderam ser identificadas com base na análise dos resultados dos experimentos didáticos. Esses conceitos foram caracterizados pelo conteúdo e o foco dado a diferentes âmbitos das atividades exercitadas, além disso, a constatação da relevância e explicitude de alguns desses conceitos partiu da classificação dos alunos, que em seus depoimentos confirmaram as ideias apresentadas em aula.

Esse trabalho apresentou dois tipos de atividades didáticas que responderam ao objetivo de introduzir conceitos e exercitar técnicas de desenho paramétrico. Em ambas as ações o foco foi direcionado para a fundamentação dos conhecimentos que o processo paramétrico envolve, no entanto, as situações estiveram voltadas a cenários distintos; uma aula da disciplina de geometria e um curso de extensão. Os experimentos realizados com esses dois tipos de exercício comprovaram a pertinência das atividades propostas e que efetivamente são capazes de construir uma cultura de uso do conceito de desenho paramétrico.

Mais especificamente na atividade voltada para a disciplina de geometria, o objetivo foi atingido ao propor exercícios que lidassem com a resolução de problemas significativos em termos de projeto de arquitetura. Nesse caso trabalhou-se a representação de um parabolóide hiperbólico e a exploração de variações a partir de arquiteturas referenciais, dessa maneira exemplificando a facilidade e controle da forma complexa, que inova em termos de abordagem em disciplinas de representação e de estudo da geometria além de contribuir para a construção de um

repertório formal e metodológico. Dessa forma essa pesquisa busca a construção de uma infraestrutura de apoio ao trabalho docente através da disponibilização das atividades elaboradas e do direcionamento no sentido de que novas abordagens sejam exploradas.

Entretanto, na direção de promover uma cultura de uso do conceito de desenho paramétrico, como base para ampliar os métodos projetuais, entende-se que não é suficiente disponibilizar uma infraestrutura didática como a que foi proposta no âmbito deste estudo.

É necessário que haja um reconhecimento deste conceito no âmbito de disciplinas de projeto arquitetônico propriamente ditas, e que se construa uma infraestrutura para estabelecer um método projetual. A contribuição desse trabalho foi de construir esses referenciais em um contexto bastante específico; GEGRADI / DAUrb / FAurb / UFPel, e ainda restrito à disciplina de GGDIII, e portanto somente abarcando questões geométricas. Mas o método de estudo apresentado pode facilitar a estruturação de novas atividades.

No que diz respeito ao desenho paramétrico, ações futuras no sentido de promover a inserção desses métodos no âmbito acadêmico podem incluir experimentações de atividades introdutórias tanto em outros estágios de formação como também em outras áreas de conhecimento do campo da arquitetura como conforto, materiais e técnicas de construção ou planejamento urbano. Mais especificamente atividades dentro da disciplina de projeto configuram um ambiente que não só promove a aplicação direcionada das técnicas paramétricas, mas que efetivamente permite estabelecer um método inovador de exploração formal.

No entanto, os experimentos em formato de oficinas de extensão realizados ao longo dessa pesquisa permitiram observar que esse tipo de atividade impulsiona o interesse do aluno de maneira envolvente o que propicia que inserções desse tipo contribuam aos poucos para criar uma cultura de uso. Ações com esse caráter são convenientes para essa função devido ao tempo necessário para a formação de docentes. Através de atividades de extensão se tem a oportunidade de formar o

estudante, o qual poderá se caracterizar como veículo de inclusão de novos métodos nas disciplinas de projeto.

A constatação de que os programas computacionais estarão sempre mudando e evoluindo poderia identificar uma abordagem paramétrica ao projeto como uma simples prática passageira; no entanto essa ideia reforça ainda mais a ideia de trabalhar com processos de desenho que tem em sua base as relações associativas e controle de variáveis projetivas. Sistemas generativos lidam com a organização lógica de um processo para produção de soluções, e isso exige do projetista a criação de sua própria ferramenta, ou seja, o projetista padroniza a tecnologia para suas necessidades específicas.

A abordagem digital, no ensino de arquitetura, deve estar voltada para métodos que possibilitem o aluno a adaptar-se, constantemente, ao expansivo campo computacional, pois seu repertório técnico e conceitual é tão amplo, quanto as suas habilidades de inventar as próprias soluções.

REFERÊNCIAS

BENEVOLO, Leonardo. A arquitetura no novo milênio. São Paulo: Estação Liberdade, 2007.

BENTLEY. GC versus Grasshopper. Disponível em: <<http://designplaygrounds.com/deviants/rhino-grasshopper-vs-generative-components/>> Acesso em: 08 ago. 2012

BRASIL. Ministério da Educação. Portaria nº 1.770, de 21 de dezembro de 1994. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, 1994.

BRAWNE, Michael. Architectural thought: the design process and the expectant eye. Oxford: Architectural Press, 2003.

BORDA, A.; PIRES, J.; VASCONCELOS, T.; NUNES, C. Trajetórias de aprendizagem em representação gráfica digital. In: Educação Gráfica 2012 – v.16 – n.01.

BURRY, Mark. Scripting cultures: architectural design and programming (Architectural Design Primer). Londres: Wiley, 2011.

BURRY, Jane R.; BURRY, Mark C. Gaudí and CAD. R. Houward, 2005

BURRY, Jane R.; BURRY, Mark C. The new mathematics of architecture. Londres: Thames & Hudson, 2012.

CELANI, Gabriela. CAD Criativo. Rio de Janeiro: Campus, 2003

CELANI, Gabriela; VAZ, Carlos; PUPO, Regiane. Sistemas generativos de projeto: classificação e reflexão sob o ponto de vista da representação e dos meios de produção. In Revista Brasileira de Expressão Gráfica. Vol. 1, N 1, 2013.

CELANI, Gabriela. Enseñando diseño generativo: una experiencia didáctica. In: **Anais... SiGraDi 2008**. Cuba, 2008

CELANI, Gabriela. A importância da pesquisa na formação de docentes: O caso da informática aplicada à Arquitetura e Urbanismo. In *Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo*. Vol. 7, N 1, 2007.

COLOMINA, Beatriz. A Conversation with Frank Gehry in *El Croquis* 117 - Frank Gehry 1987 – 2003. *El Croquis*: 2006

FISCHER, T.; HERR, C. M. Teaching generative design. In: *Proceedings of the 4th International Generative Art Conference*. Milão: Ed. SODDU, 2001.

FRAZER, John. *An evolutionary architecture*. London: Architectural Association, 1995.

GAUSA, Manuel et al. *The Metapolis Dictionary of Advanced Architecture*. Barcelona: ACTAR, 2003.

GIRALT-MIRACLE, Daniel. *Gaudí. La búsqueda de la forma*. Barcelona: Lunwerg, 2002.

GRASSHOPPER. GC or Grasshopper? Disponível em: <<http://www.grasshopper3d.com/forum/topics/gc-or-grasshopper>> Acesso em: 08 ago. 2012

JOHNSON, Steven. *Emergência. A dinâmica de redes em formigas, cérebros, cidades e softwares*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2003.

KHABAZI, Zubin. *Generative Algorithms using Grasshopper*. Zubin Mohamed Kahbazi, 2010. Disponível em: <<http://www.grasshopper3d.com/page/tutorials-1>> Acesso em: 10 set. 2011

KOLAREVIC, Branko. Architecture in the digital age: Design and manufacturing. Abingdom, Oxon: Taylor & Frances, 2005.

KOLAREVIC, Branko. Digital architecture. In Proceedings of ACADIA 2000. Washington, 2000.

LAWSON, Bryan. How designers think. The design process demystified. Oxford: Architectural Press, 2005.

LAWSON, Bryan. What designers know. Oxford: Architectural Press, 2004.

LINDSEY, Bruce. Digital gehry. Material resistance digital construction. Bael: Birkhauser, 2001.

LOOMIS, Mark. About Generative Design Plataforms. Disponível em: <<http://designplaygrounds.com/deviants/about-generative-design-platforms-by-mark-loomis/>> Acesso em: 08 ago. 2012

LOOMIS, Mark. Rhino Grasshopper VS Generative Components. Disponível em: <<http://designplaygrounds.com/deviants/rhino-grasshopper-vs-generative-components/>> Acesso em: 08 ago. 2012

LYNN, Greg. Animate form. Nova Iorque: Princeton Architectural Press, 1999.

LYNN, Gregg. Folding in architecture. West Sussex: Wiley-Academy, 1993

MEREDITH, Mltchael. From Control to Design: Parametric / Algorithmic Architecture. Barcelona: Actar, 2008

MARK, Earl; MARTENS, Bob; OXMAN, Rivka. The ideal computer curriculum. In: ECAADE, 2001, Helsinki. Anais... Helsinki: University of Technology, 2001. p.229-232.

MITCHELL, William J. The theoretical foundation of computer-aided architectural design. *ENVIRONMENT AND PLANNING B*. vol. 2 pp. 127-150, 1975. Londres: Pion Ltda.

MITCHELL, William J. A new agenda for computer-aided architectural design. In: *NEW IDEAS AND DIRECTIONS FOR THE 1990'S ACADIA CONFERENCE*, 10.,1989, Gainesville. Disponível em: <<http://cumincad.scix.net/>> Acesso em: 25/04/2009

MITCHELL, William J. Constructing Complexity. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN FUTURES*, 11., 2005, Vienna. Disponível em: <<http://cumincad.scix.net/>> Acesso em: 25/04/2009

MITCHELL, William J. *A lógica da arquitetura*. Campinas: Editora Unicamp 2008

MONTANER, Josep Maria. *Depois do movimento moderno: Arquitetura da segunda metade do século XX*. Barcelona: Gustavo Gili, 2001

MONTANER, Josep Maria. *Sistemas arquitetônicos contemporâneos*. Barcelona: Gustavo Gili. 2009.

MONEO, Rafael. *Inquietação teórica e estratégia projetual na obra de oito arquitetos contemporâneos*. Coleção Face Norte, volume 12, Cosac Naify, São Paulo; 1ª edição, 2008.

NEGROPONT, Nicholas. *Ser digital*. Barcelona: Ediciones B, 1995

OTS, Enn. *Decoding theoryspeak: an illustrated guide to architectural theory*. Londres: Routledge, 2011.

OXMAN, Rivka. *Theory and design in the first digital age*. *DESIGN STUDIES* 27. Londres: Elsevier, 2006. Disponível em: <<http://www.technion.ac.il/>>. Acesso em: 20/06/2009

OXMAN, Rivka. Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. DESIGN STUDIES 29. Londres: Elsevier, 2008. Disponível em: <<http://www.technion.ac.il/>>. Acesso em: 20/06/2009

OXMAN, Rivka. Educating the designerly thinker. DESIGN STUDIES 20. Londres: Elsevier, 1999.

PASTANA, Carlos Eduardo T. Anotações de aula. Desenho Técnico. UNIMAR, Marília 2006.

PIRES, J. F.; NUNES, C. S.; VASCONSELOS, T. B.; SILVA, A. B. A. Trajetórias de Geometria na Arquitetura. In: GRAFICA RIO 2011, Anais XX Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico e IX International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design. Rio de Janeiro: Escola de Belas Artes. 1-12. 2011

POLLOCK, Sydney. American Masters - Sketches of Frank Gehry. [Filme] EUA, 2006. 83 min

PORTER, Tom. Archispeak: an illustrated guide to architectural terms. Londres: Spon Press, 2004.

POTTMAN, Helmut et al. Architectural geometry. Exton: Bentley Institute Press, 2007

RAPPOLT, Mark. Greg Lynn Form. Nova Iorque: Rizzoli, 2008.

RODRIGUES, Alvaro José. Geometria descritiva. Operações fundamentais e poliedros. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1961

ROWE, Peter G. Design Thinking. The MIT Press. 1987.

SCHLEE, Andrey Rosenthal (Org.). Trajetória e estado da arte da formação em engenharia, arquitetura e agronomia – v. X: Arquitetura e Urbanismo. 1ed. Brasília: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia, 2010.

SHUBERT, Howard. Preserving Digital Archives at the Canadian Centre for Architecture: Greg Lynn's Embryological House. Montreal, Canadian Centre for Architecture, 2008

SCHUMACHER, Patrik. Digital design and construction of organic form. In: RIBA Research Symposium. 2005. Disponível em: <<http://www.architecture.com/Files/RIBAProfessionalServices/ResearchAndDevelopment/Symposium/PatrikSchumacher.pdf>> Acesso em: janeiro, 2013.

SCHUMACHER, Patrik. Parametricist Manifesto. The Dark Side Club, 11^a. Bienal de Arquitetura. Veneza, 2008. Disponível em <<http://www.darksideclub.org/2008/propositions>> Acesso em 08 ago. 2012

STINY, George; GIPS, James. Algorithmic aesthetics: computer models for criticism and design the arts. Londres: University of California Press, 1978.

STINY, Gerorge; GIPS, James. Shape grammars and generative specification of painting and sculpture. In: Proceedings Information Processing 71. Amsterdam: C. V. Freiman, 1972. p. 1460-1465

SCHÖN, Donald A. The Reflective Practitioner. How professionals think in action. Nova Iorque: Basic Books, 1983

SUTHERLAND, Ivan E. The ultimate display. In Proceedings of IFIP Congress p. 506-508. <http://projects.vrac.iastate.edu/hci580x/files/2011/08/Sutherland-The-Ultimate-Display.pdf>

TERZIDIS, Kostas. Algorithmic architecture. Oxford: Architectural Press, 2006

WEINSTOCK, Michael. Self-organization and material construction. AD Architectural Design Magazine: Techniques and technologies in Morphogenetic design. London: Weiley, 2006

WEINSTOCK, Michael. The architecture of emergence: the evolution of form in nature and civilization. West Sussex: John Wiley and Sons Ltda., 2010.

WEISBERG, David E. The engineering design revolution: the people, companies and computer systems that changed forever the practice of engineering. Englewood: David E. Weisberg, 2008. Disponível em <<http://www.cadhistory.net/>> Acesso em: 21 Mai. 2012

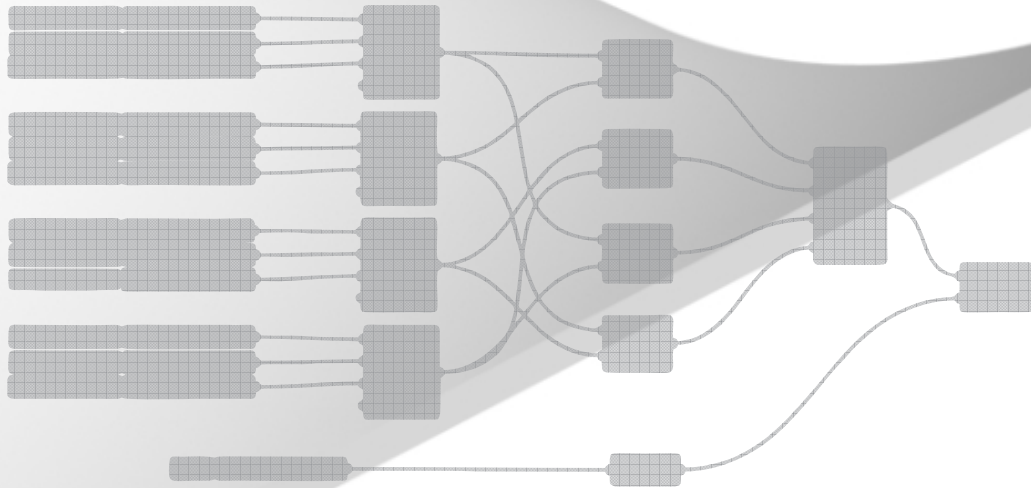
WOODBURY, Robert. Elements of parametric design. Londres: Routledge, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A

ATIVIDADE 01 – SALA DE AULA

MODELAGEM DE UM PARABOLOIDE HIPERBÓLICO POR MEIO DO DESENHO PARAMÉTRICO



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



Superfícies Geométricas

Classe das superfícies retilíneas

Grupo das superfícies desenvolvíveis

Sup. Cônica em geral, caso especial-plano
Sup. Cilíndrica em geral, caso especial-plano
Sup. de aresta de reversão, helicóide desenvolvível

Grupo das superfícies não desenvolvíveis (reversas)

Hiperbolóide escaleno de uma folha
Parabolóide Hiperbólico
Cilindróide
Conóide
Helicóide axial de plano diretor
Helicóide axial de cone diretor

Classe das superfícies propriamente curvas

Grupo das circulares em geral

Circulares de revolução

Cônica de rev.
Cilíndrica de rev.
Esférica
Elipsóide de rev.

Alongado
Achatado

Hiperbolóide de rev.
Parabolóide de rev.

de uma folha
de duas folhas

Circulares de circunvolução

Tórica circular
Serpentina

Grupo das quádricas em geral

Subgrupos de 1ª espécie

Cônica de 2ª ordem
Cilíndrica de 2ª ordem
Parabolóide elíptico
Elipsóide escaleno
Hiperbolóide elíptico

Subgrupos de 2ª espécie

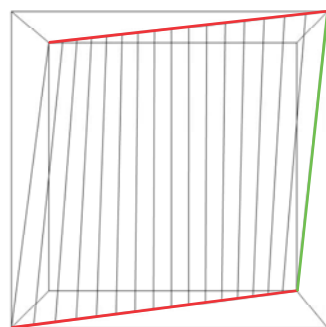
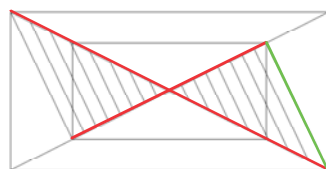
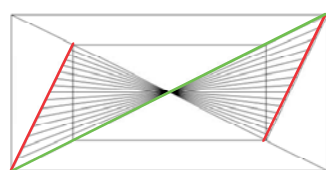
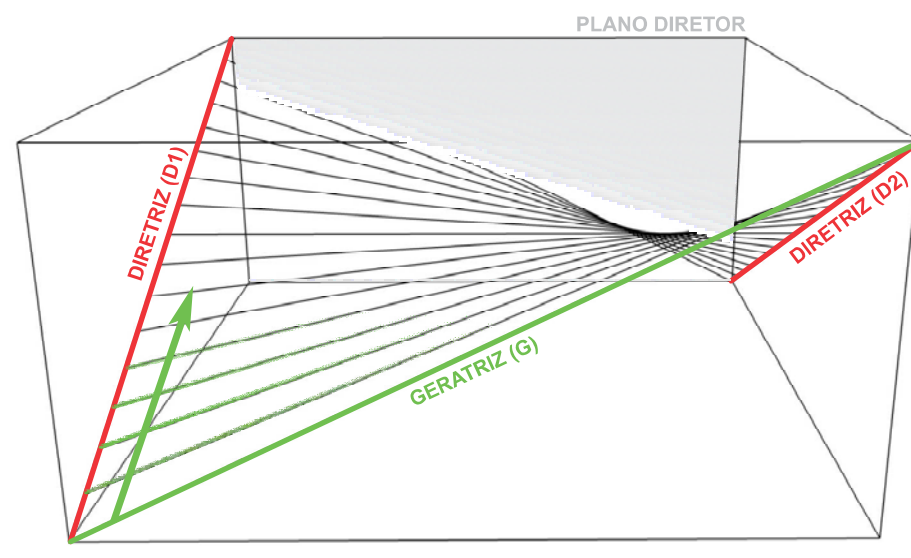
Tórica elíptica, hiperbólica e parabólica
Superfície topográfica geométrica

PARABOLOIDE HIPERBÓLICO - CLASSIFICAÇÃO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



O parabolóide hiperbólico é gerado pelo movimento de uma reta geratriz paralela a um plano diretor e que se apoia em duas diretrizes retas cruzadas (KREMER, 2008).

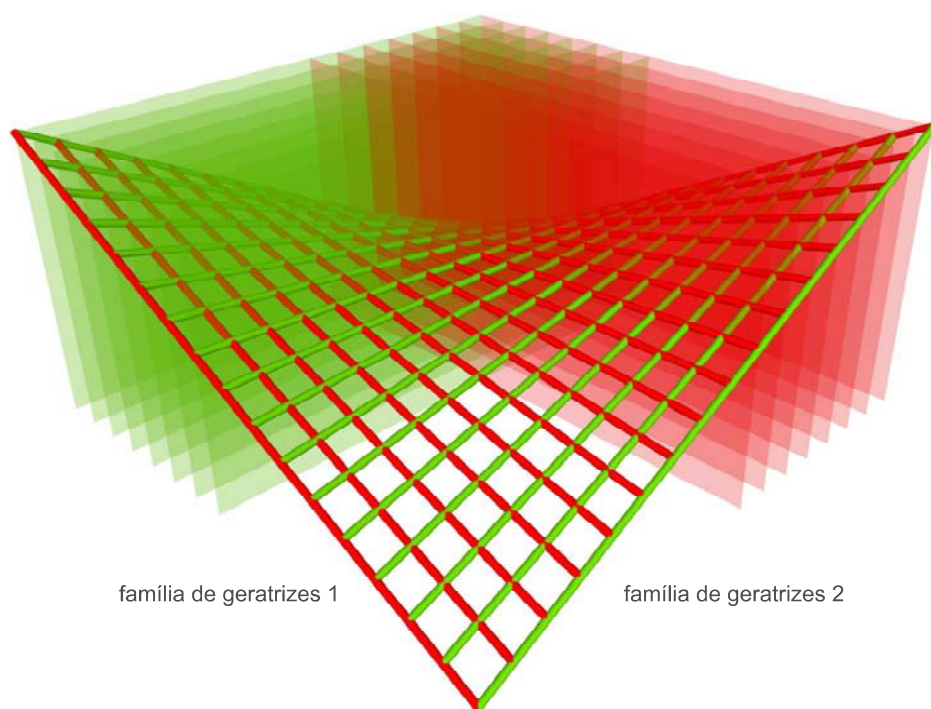


PARABOLOIDE HIPERBÓLICO - DEFINIÇÃO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva

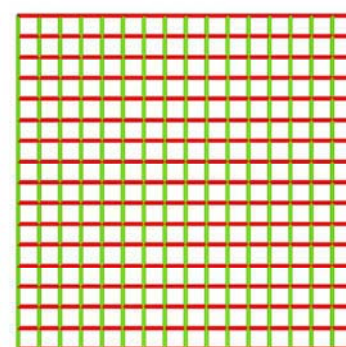
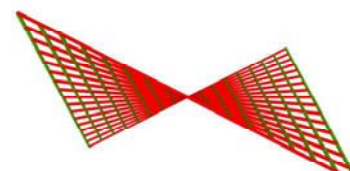


O parabolóide hiperbólico também pode ser gerado por dois sistemas de geratrizes retilíneas concorrentes, sendo que cada grupo (família) de linhas está paralelo a um plano diretor diferente (KREMER, 2008; POTTSMANN, *et al.* 2007) o que configura uma superfícies duplamente regrada.



família de geratrizes 1

família de geratrizes 2

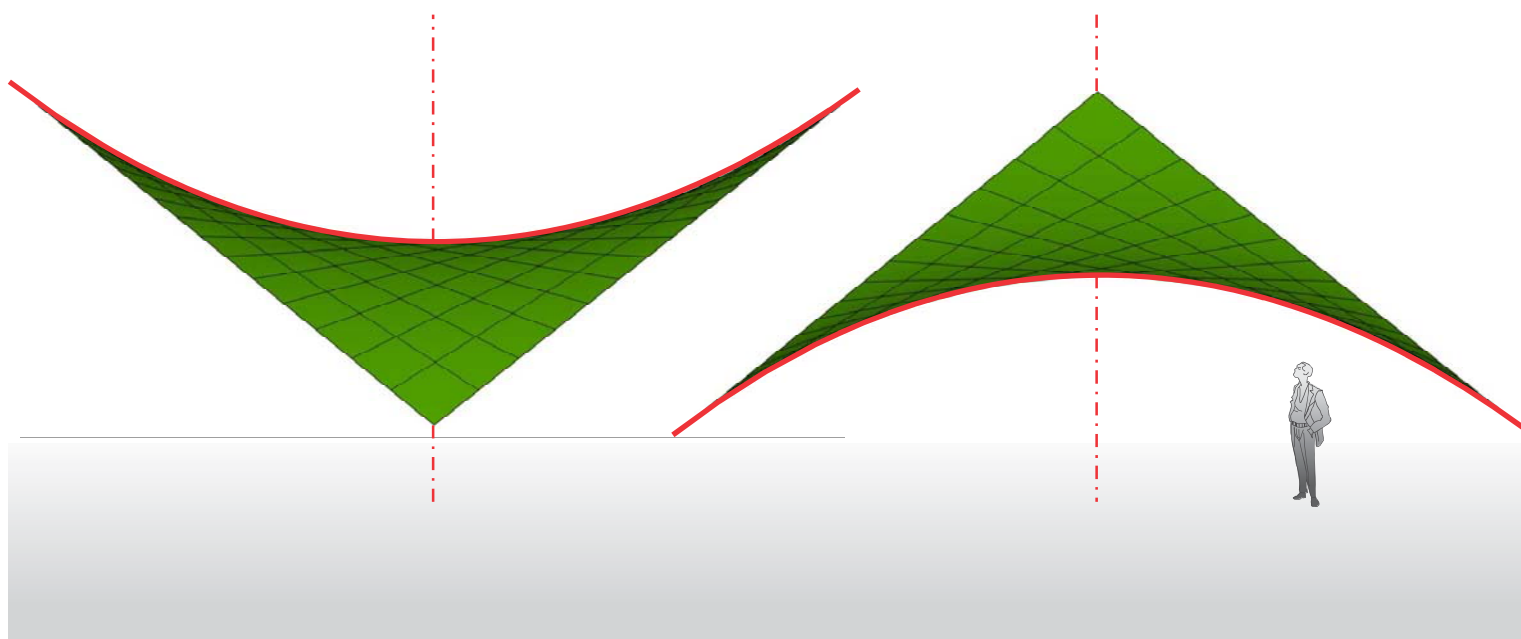


PARABOLOIDE HIPERBÓLICO - DEFINIÇÃO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



No eixo de simetria principal do parabolóide hiperbólico é possível observar duas parábolas situadas em planos que passam por esse eixo. (KREMER, 2008) As propriedades estáticas positivas, especialmente aquelas observadas em parabolóides hiperbólicos de eixo vertical, possibilitam a construção de estruturas em casca que podem estender-se por grandes vãos enquanto possuem relativamente pouca espessura. (POTTMANN, *et al.* 2007) Ou seja, são elementos arquitetônicos de fácil uso e que oferecem muitas possibilidades projetivas.

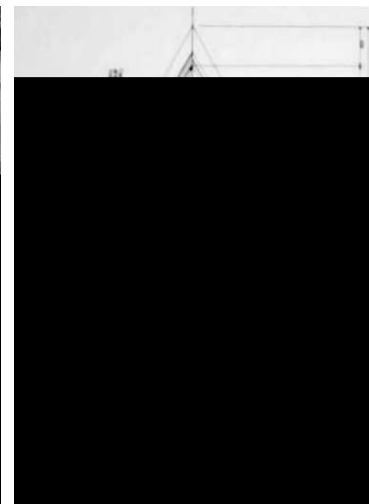


PARABOLOIDE HIPERBÓLICO - DEFINIÇÃO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



Capela de Nossa Senhora da Soledad - Cidade do México, México, 1955 - Félix Candela



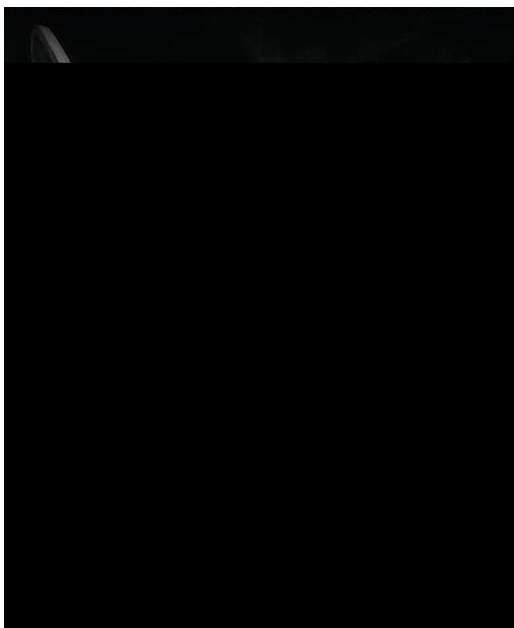
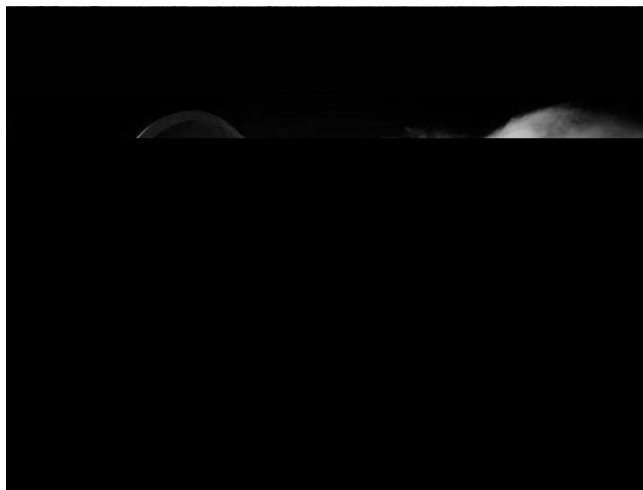
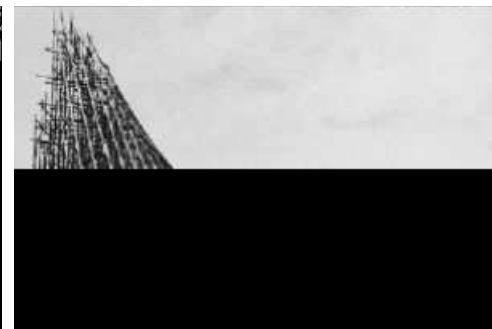
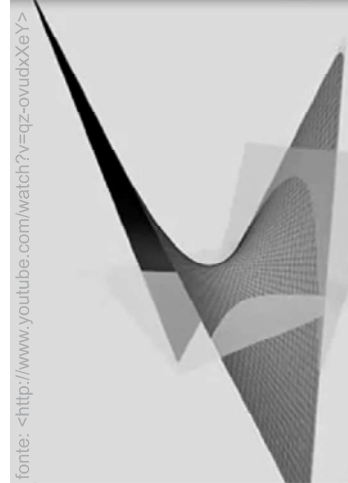
fonte: <http://es.wikiarquitectura.com/index.php/Capilla_de_Nuestra_Se%C3%B1ora_de_la_Soledad> <<http://www.arqred.mx/blog/2009/09/05/cscae-arquitecto-felix-candela-outerino/>>

PARABOLOIDE HIPERBÓLICO - EXEMPLOS DE USO NA ARQUITETURA

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



Capela de Palmira - Lomas de Cuernavaca, México, 1959 - Félix Candela



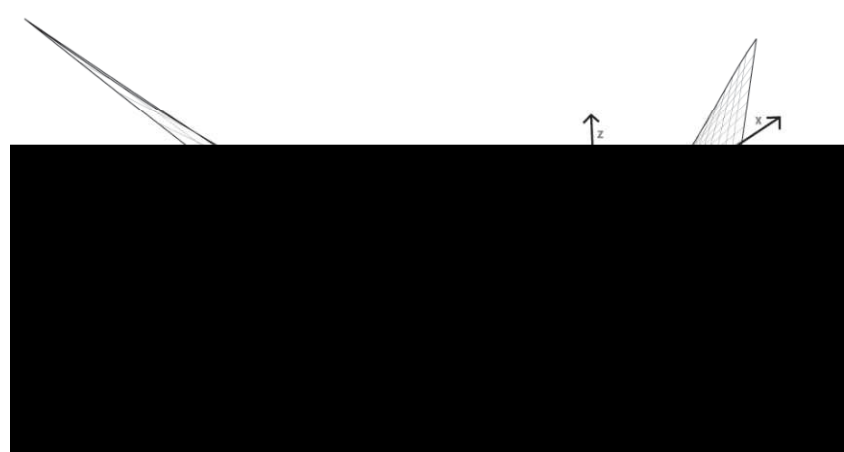
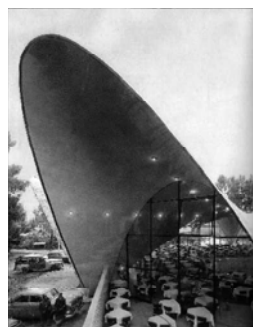
fonte: <<http://www.ivam.es/en/exhibitions/2839-felix-candela-1910-2010>> <<http://pc.blogspot.com.br/2010/12/chapel-lomas-de-cuernavaca-by-felix.html>>

PARABOLOIDE HIPERBÓLICO - EXEMPLOS DE USO NA ARQUITETURA

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



Restaurante Los Manantiales - Xochimilco, México, 1958 - Félix Candela

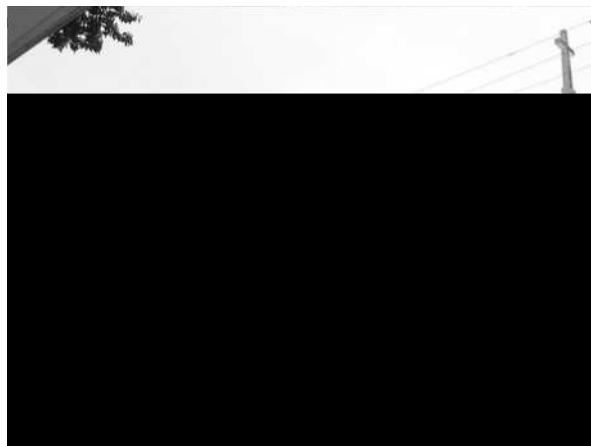
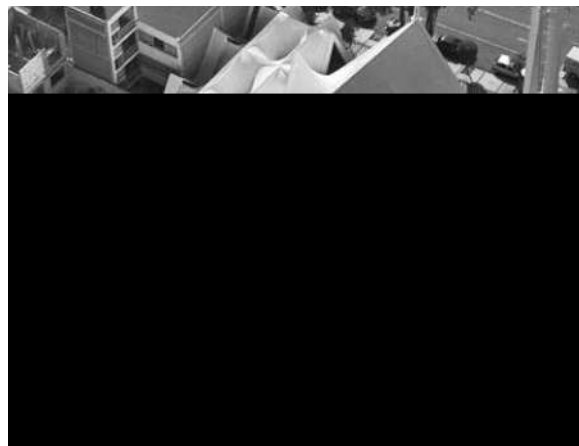
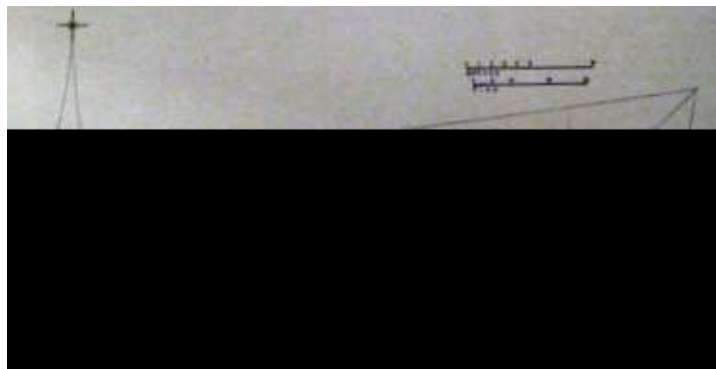


fonte: <<http://www.archdaily.mx/48878/clasicos-de-arquitectura-restaurante-los-manantiales-felix-candela/>> <<http://candelastructures.org/exhibit/name.html>>

PARABOLOIDE HIPERBÓLICO - EXEMPLOS DE USO NA ARQUITETURA

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva

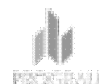




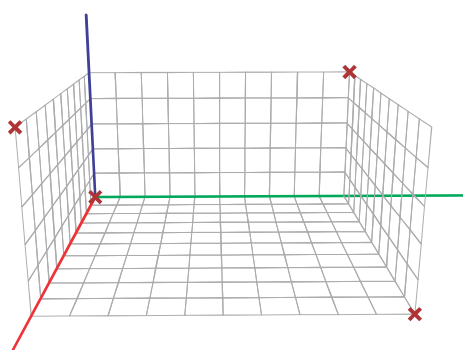
fonte: <http://es.wikiarquitectura.com/index.php/Iglesia_de_la_Medalla_de_la_Virgen_Milagrosa> <<http://www.arqred.mx/blog/2009/09/05/cscae-arquitecto-felix-candela-outerino/>>

PARABOLOIDE HIPERBÓLICO - EXEMPLOS DE USO NA ARQUITETURA

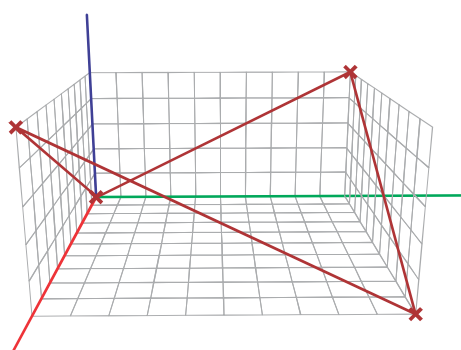
BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



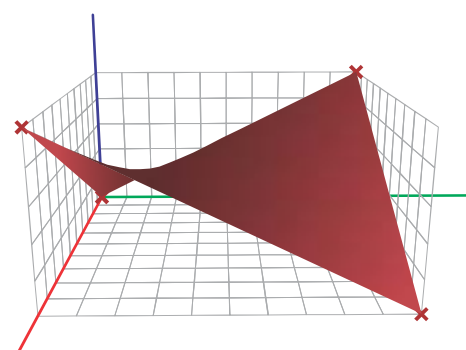
ELEMENTOS GEOMÉTRICOS



pontos



linhas



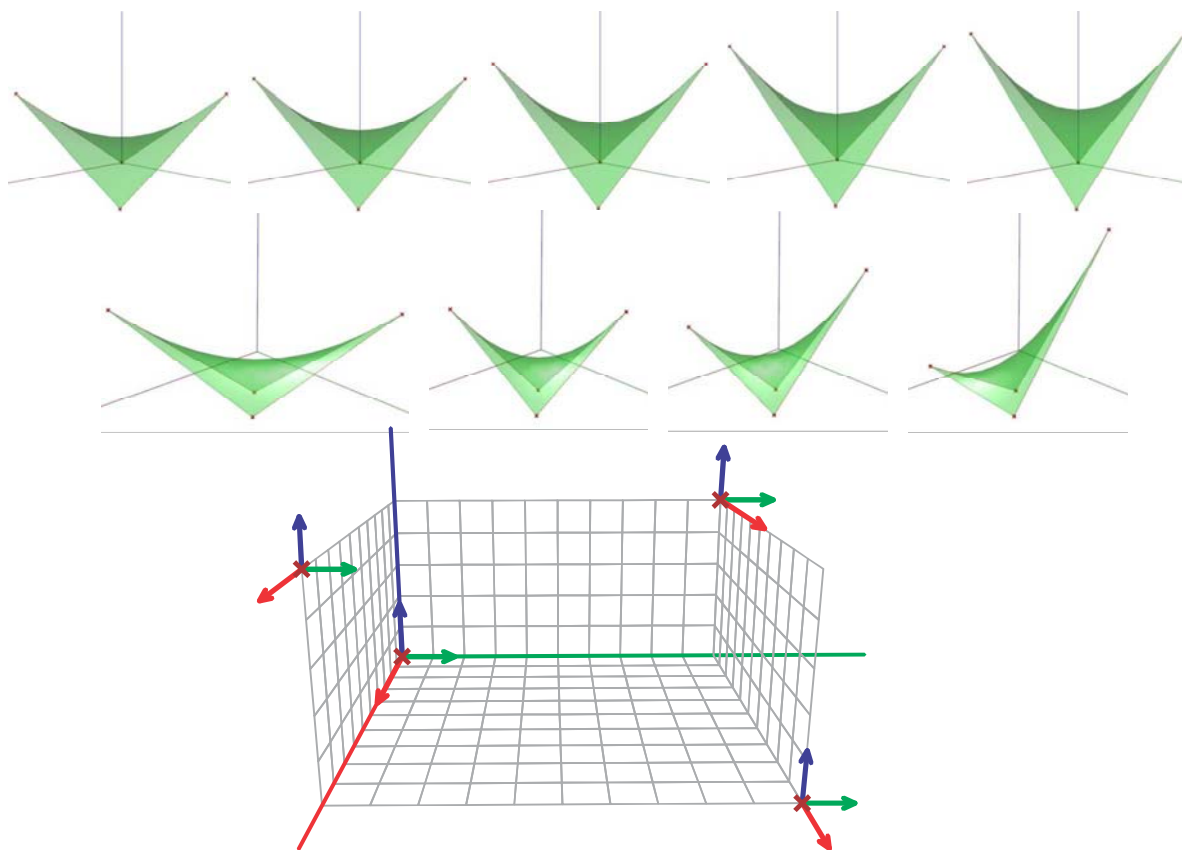
superfície

Na construção do parabolóide hiperbólico é possível observar a interdependência dos elementos geométricos que juntos dão forma a superfície que é definida pelas linhas que são suas arestas e essas definidas pelos pontos que são seus vértices.

PARABOLOIDE HIPERBÓLICO - DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva

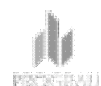




A definição dos pontos como parâmetros variáveis permite alterar sua posição no espaço e assim explorar as variações formais do parabolóide hiperbólico.

PARABOLOIDE HIPERBÓLICO - DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS

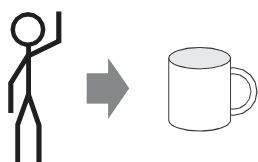
BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



O que é *DESENHO PARAMÉTRICO*?

O desenho paramétrico é um processo de projeto que faz uso de um sistema generativo computacional para produções de soluções formais, através da **definição de parâmetros compositivos e da associação entre os elementos geométricos**.

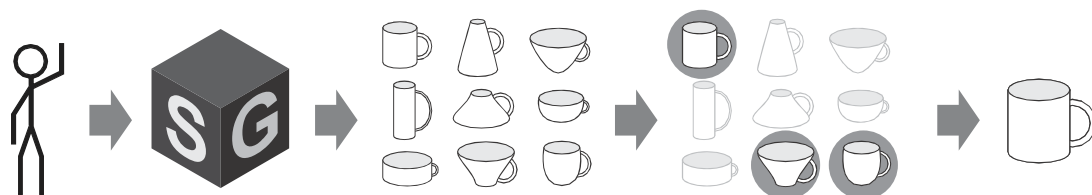
Em um processo paramétrico a forma é descrita pela articulação entre componentes compositivos e seus parâmetros. O controle dos valores atribuídos ao modelo **permite uma exploração da forma de maneira dinâmica, obtida simplesmente pela variação dos parâmetros** definidos no sistema pelo projetista.



ABORDAGEM TRADICIONAL AO PROJETO:
O PROJETISTA INTERAGE DIRETAMENTE COM A FORMA DO PRODUTO



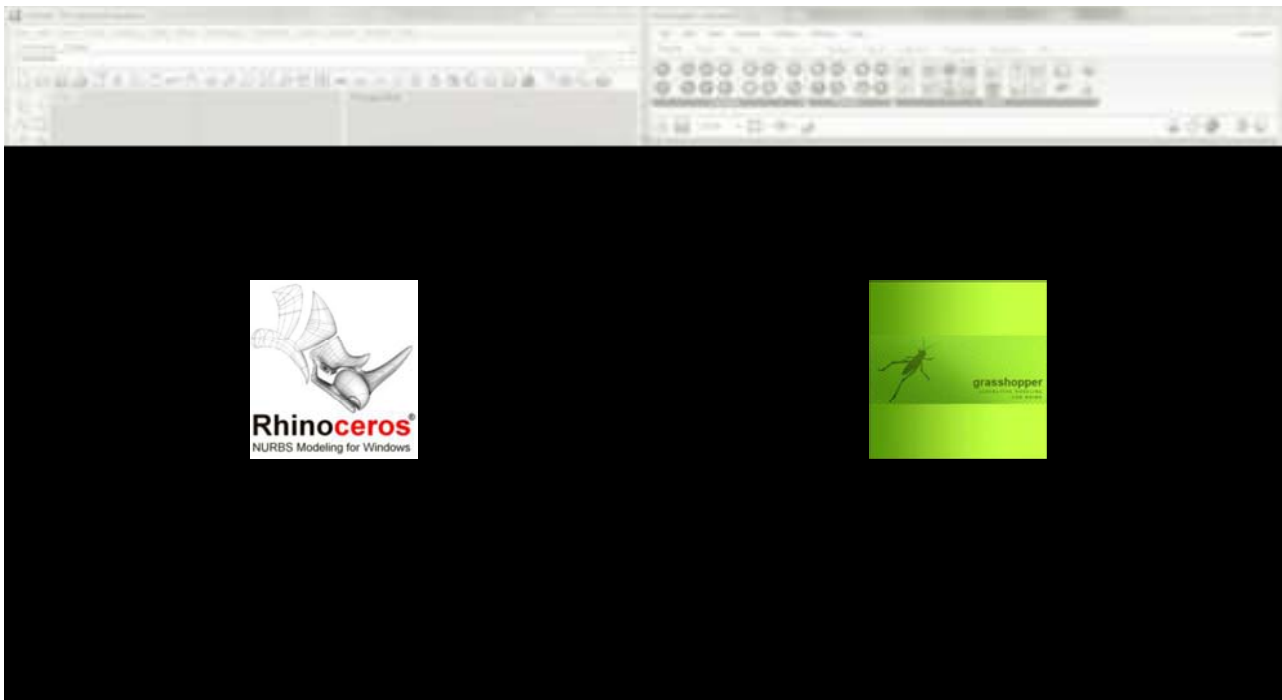
ABORDAGEM GENERATIVA AO PROJETO:
O PROJETISTA INTERAGE COM O PRODUTO POR MEIO DE UM SISTEMA GENERATIVO



DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva





Rhino (Robert McNeel & Associates)

Grasshopper (David Rutten)

DESENHO PARAMÉTRICO

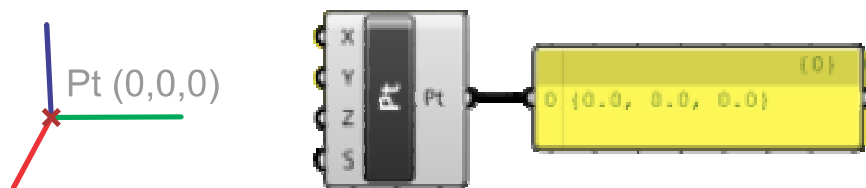
BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



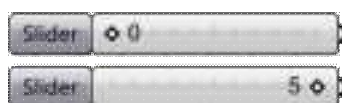
PARÂMETROS E COMPONENTES

Parâmetros são elementos que representam dados, ou valores atribuídos a um objeto. Esses dados podem ser inseridos de maneira gráfica ou numérica.

Componente são objetos que fazem as ações como criar, mover, orientar, etc. Geralmente é necessário inserir dados relevantes para que eles funcionem.



Os parâmetros do componente «ponto» são as coordenadas «x», «y» e «z» desse ponto além do plano em que está inserido dentro do sistema de coordenadas (S).



Valores podem ser atribuídos e explorados dinamicamente conectando uma indicador de dados ao seu parâmetro equivalente.

DESENHO PARAMÉTRICO : GRASSHOPPER

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva

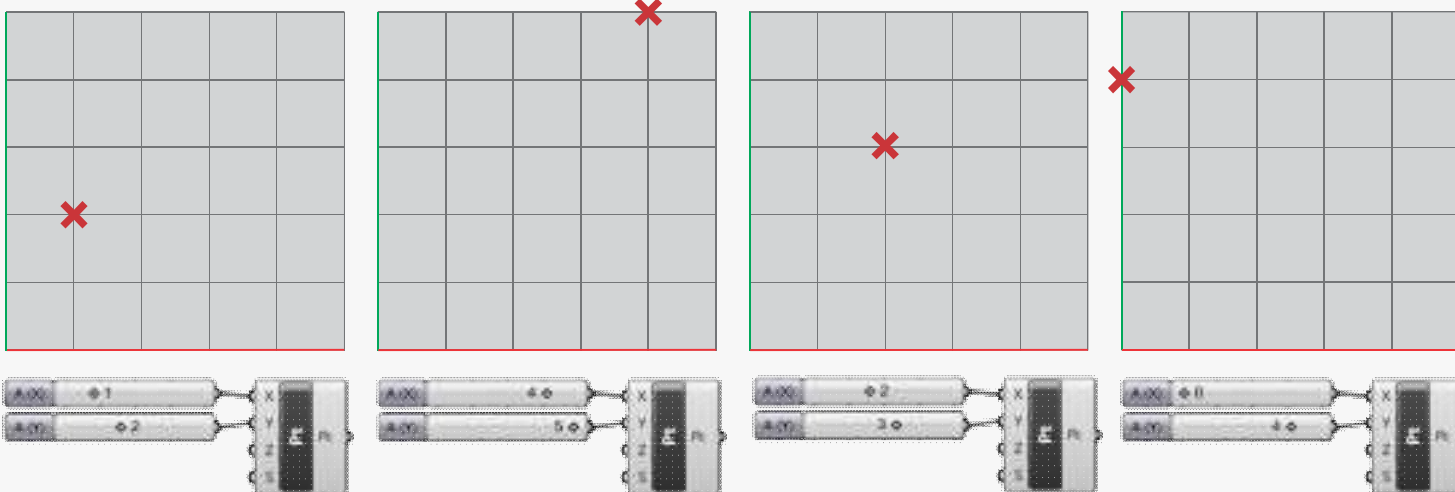


ATIVIDADE 1: CONSTRUÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBOLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



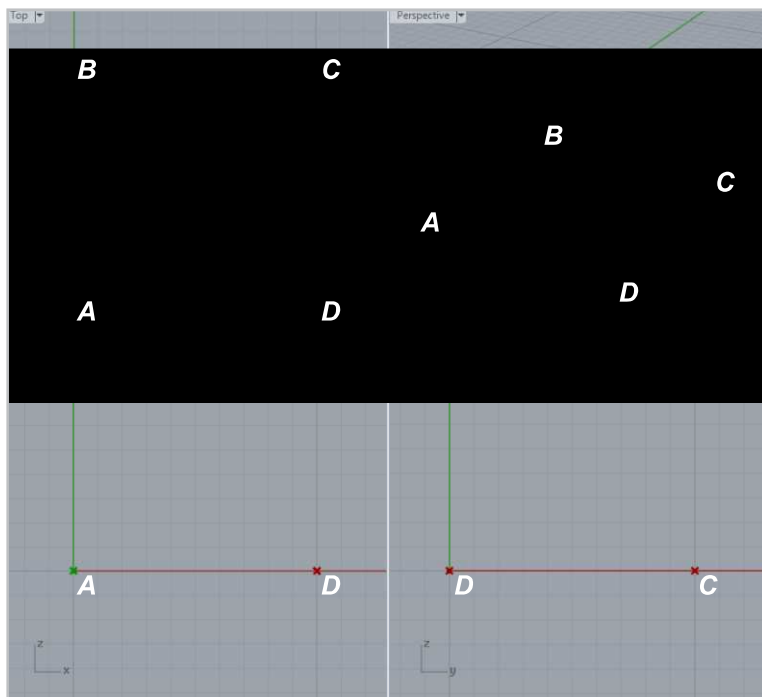
PONTOS



ATIVIDADE 1: CONSTRUÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBOLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



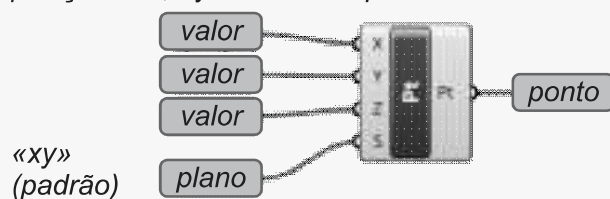
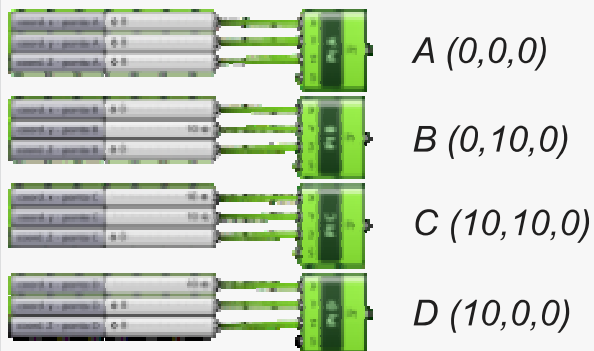


ENTRADA

coordenadas
posição «x», «y» e «z» dos pontos

SAÍDA

ponto
(x,y,z)

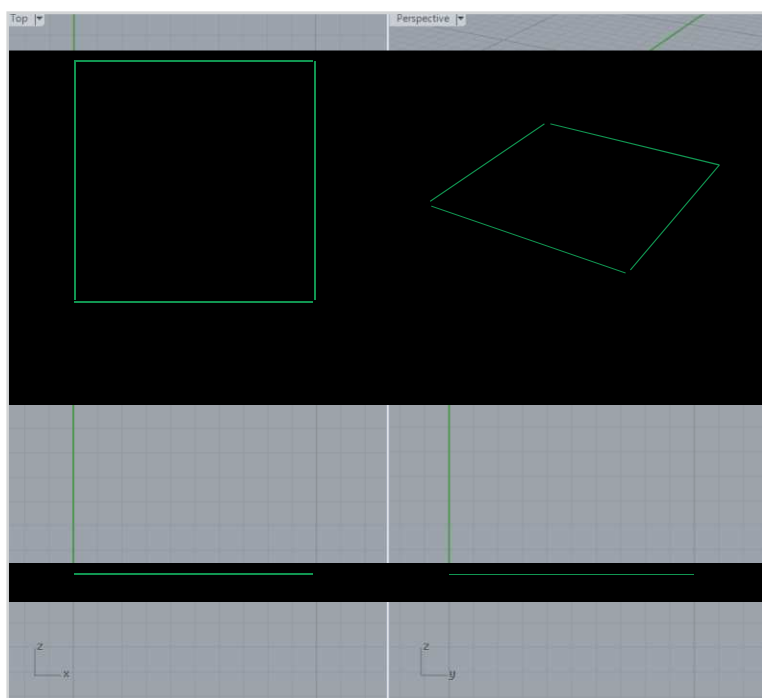


ATIVIDADE 1: CONSTRUÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBOLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



LINHA

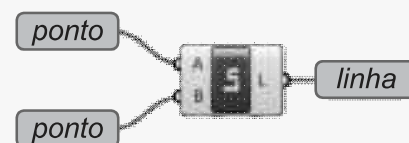
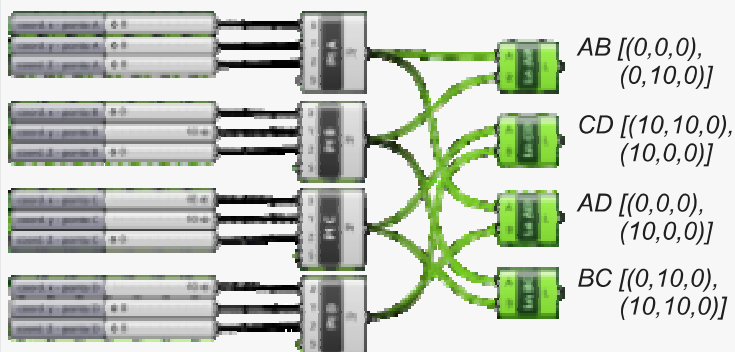


ENTRADA

pontos
A (x1,y1,z1) e B (x2,y2,z2) AB [(x1,y1,z1), (x2,y2,z3)]

SAÍDA

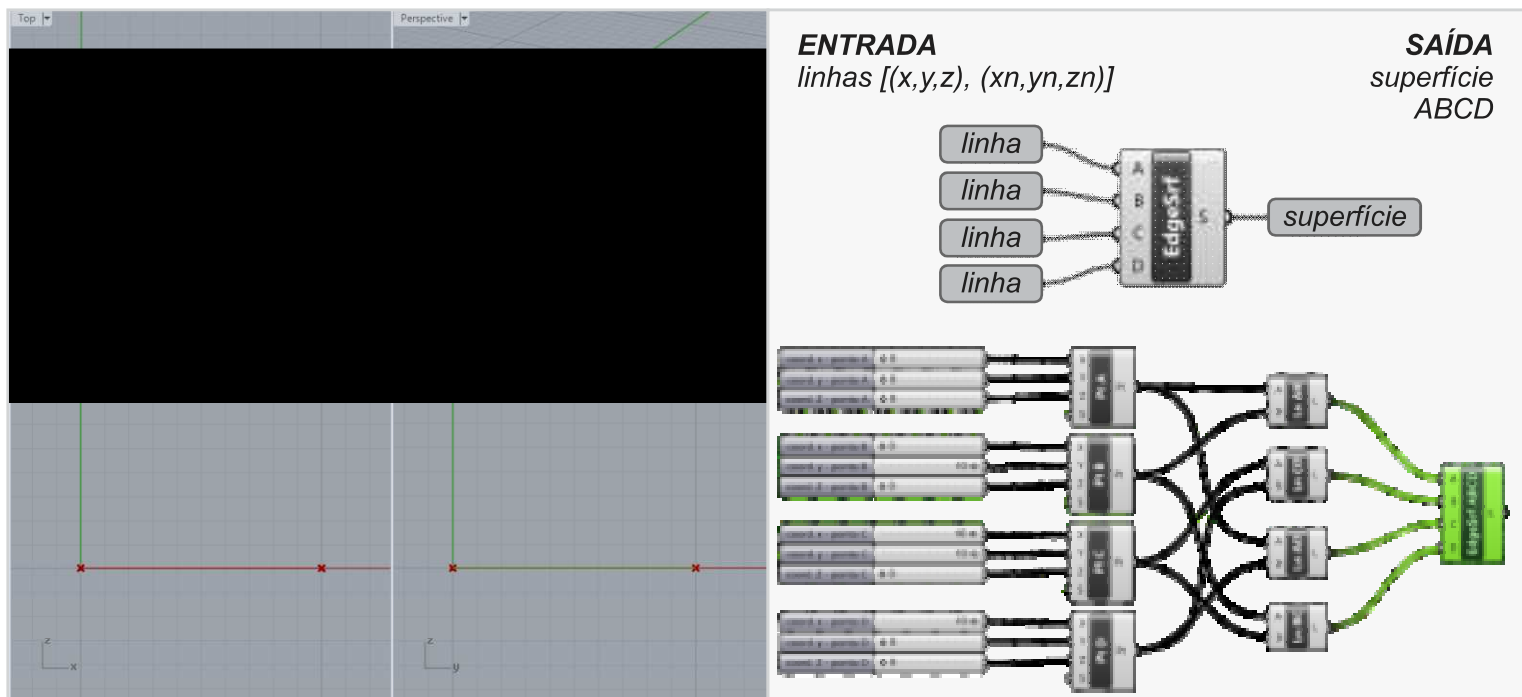
linha



ATIVIDADE 1: CONSTRUÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBOLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



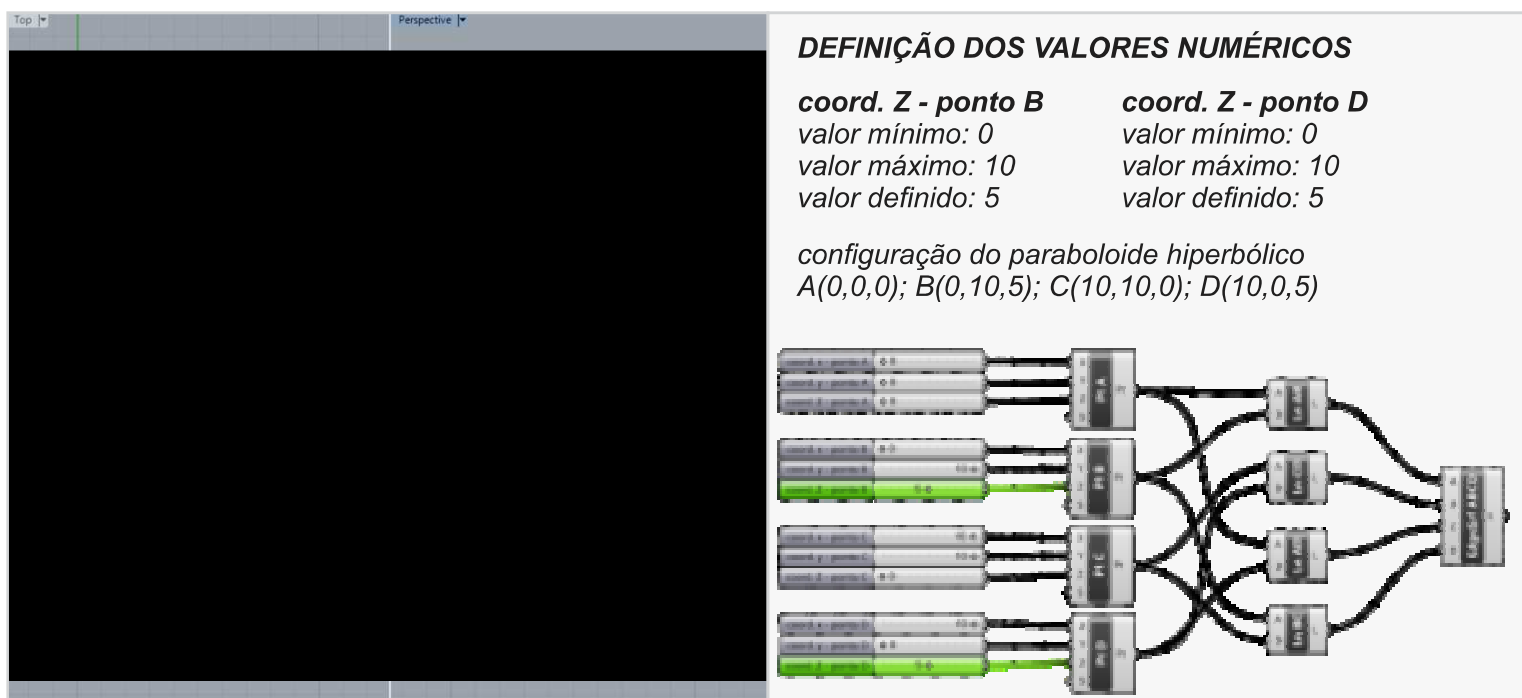


ATIVIDADE 1: CONSTRUÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBOLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



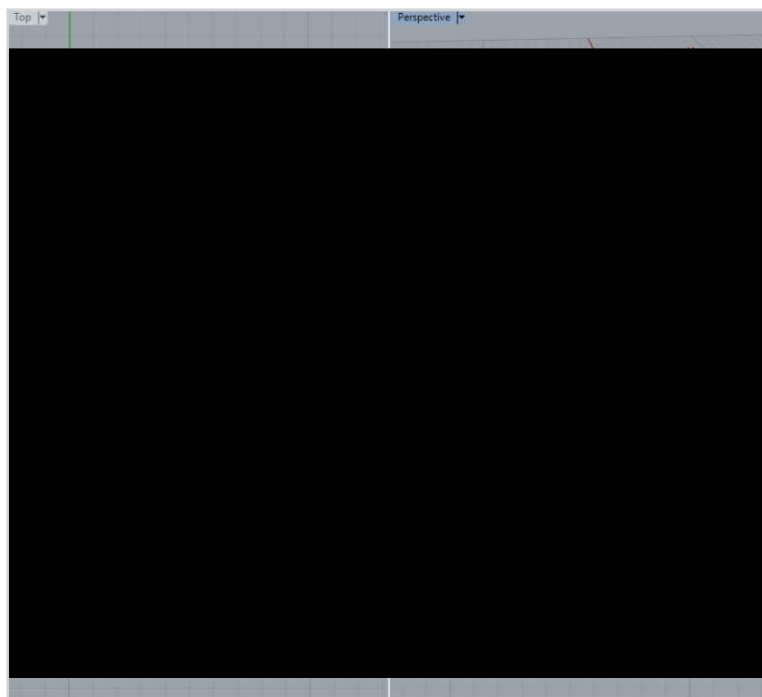
PARABOLÓIDE HIPERBÓLICO



ATIVIDADE 1: CONSTRUÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBOLICO

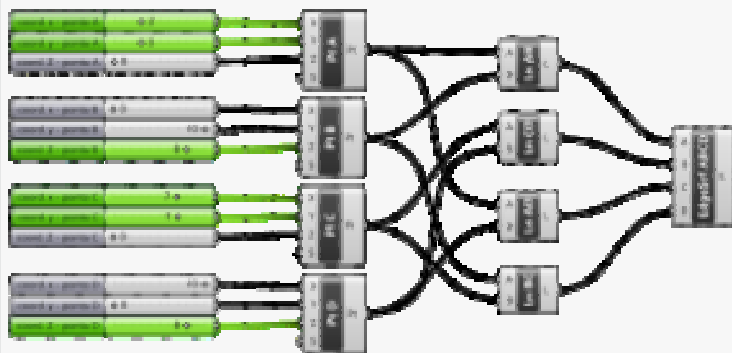
BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva





EXPLORAÇÃO DAS VARIAÇÕES FORMAIS

variação do paraboloide hiperbólico
 $A(3,3,0)$; $B(0,10,8)$; $C(7,7,0)$; $D(10,0,8)$

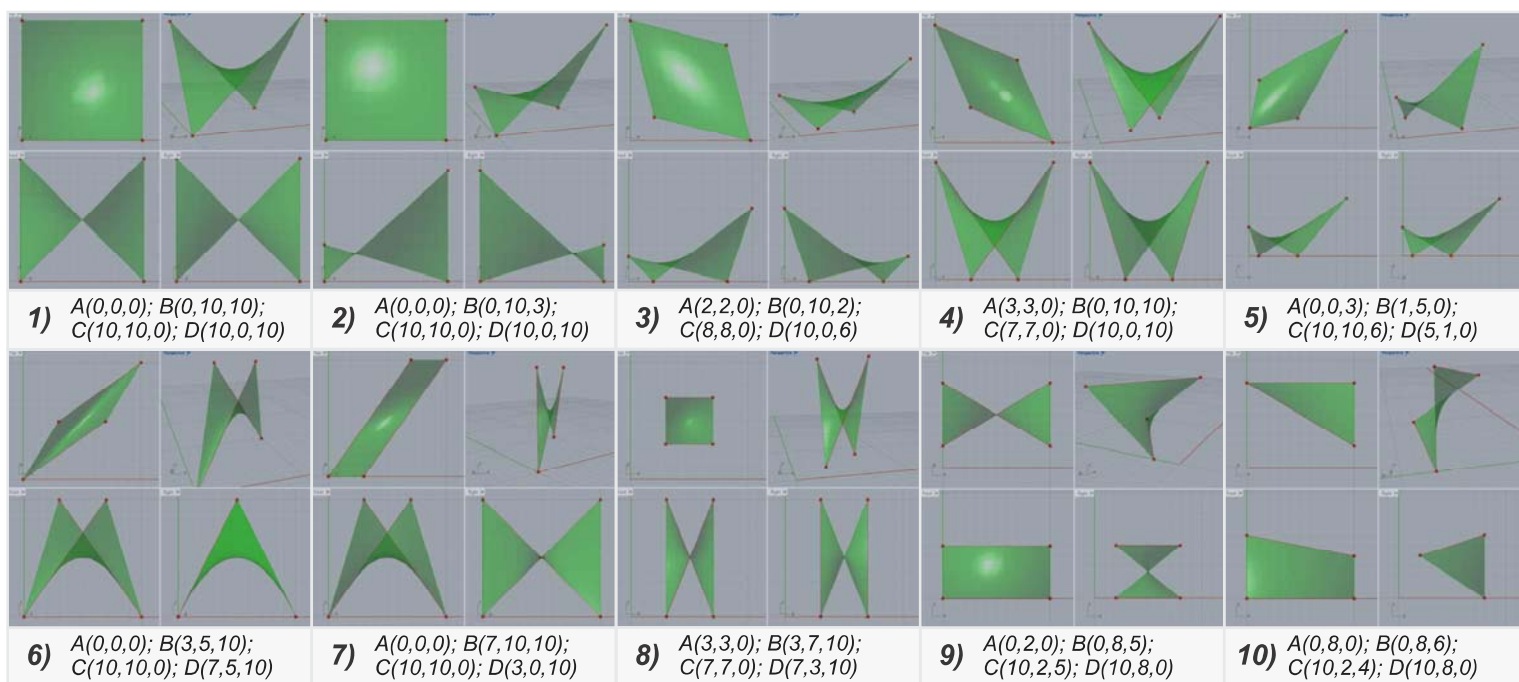


ATIVIDADE 1: CONSTRUÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBOLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
 Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PARABOLÓIDE HIPERBÓLICO

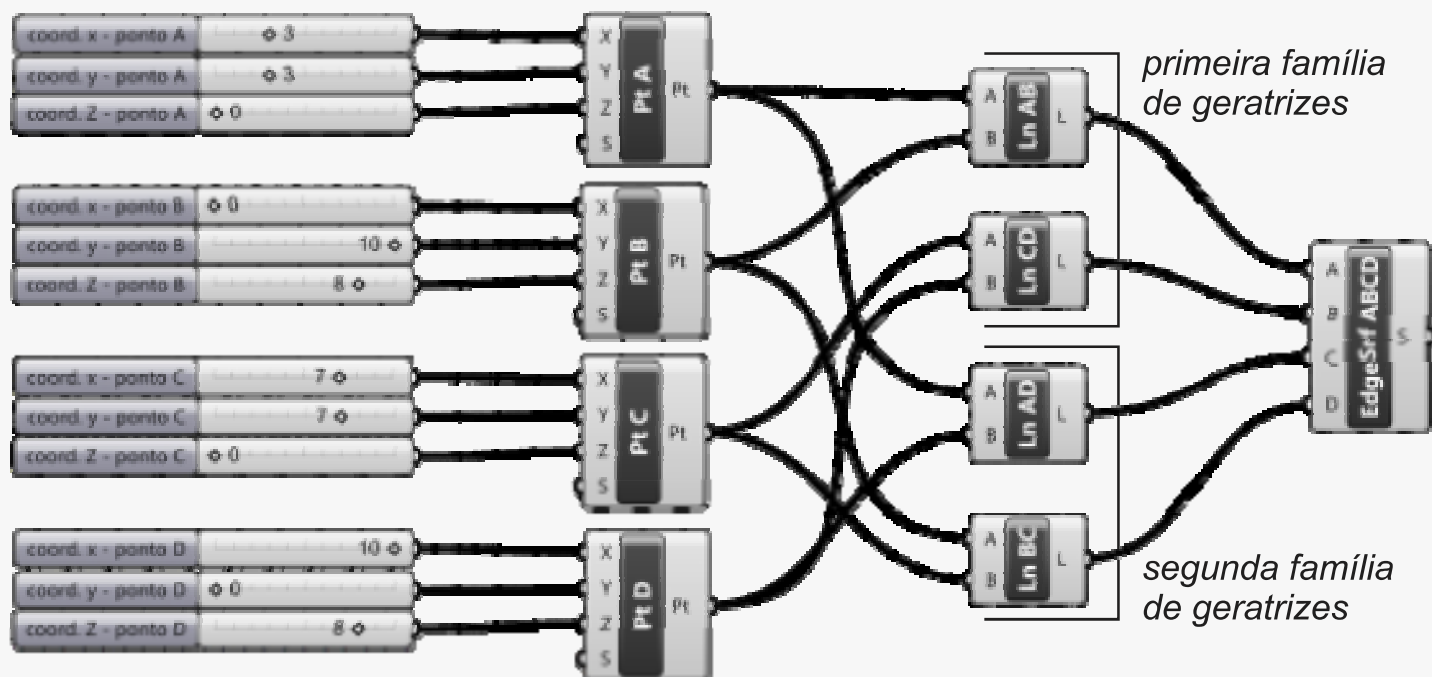


ATIVIDADE 1: CONSTRUÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBOLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
 Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PARABOLÓIDE HIPERBÓLICO: DEFINIÇÃO PARAMÉTRICA DOS VÉTRICES



parâmetros variáveis:
coordenadas «x», «y» e «z»

pontos

linhas:
diretrizes

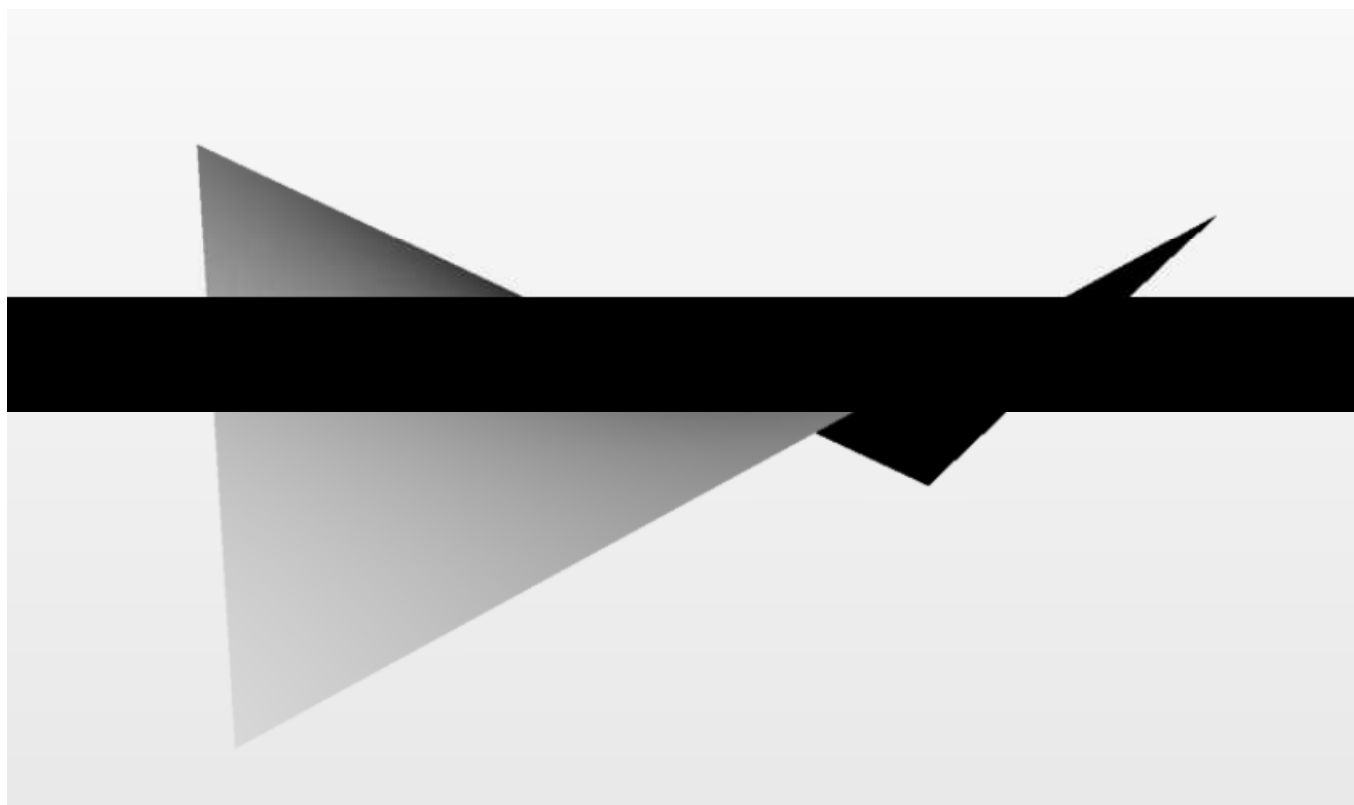
superfície

ATIVIDADE 1: CONSTRUÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBOLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PARABOLÓIDE HIPERBÓLICO: RENDERIZAÇÃO DO MODELO



ATIVIDADE 1: CONSTRUÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBOLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva

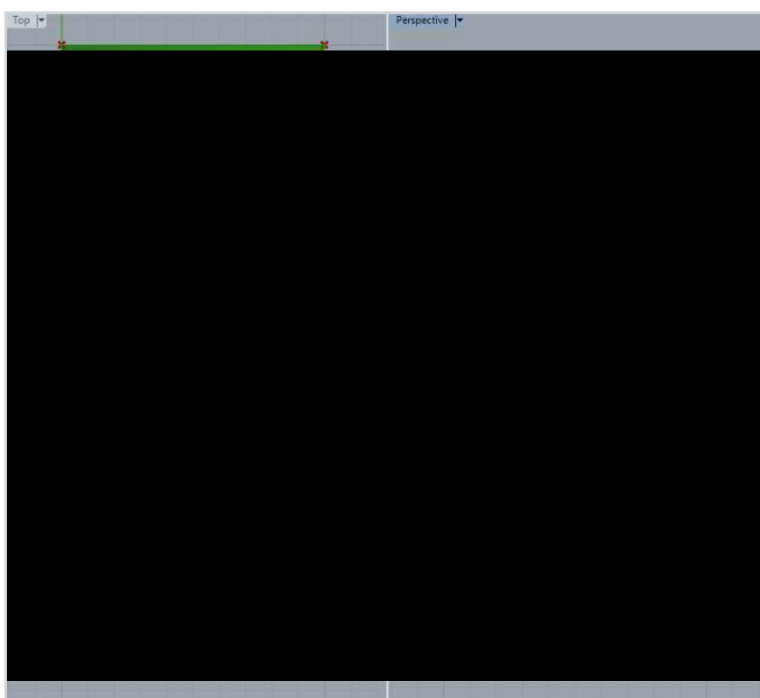


ATIVIDADE 2: CONFIGURAÇÃO DE UM PARABOLOIDE HIPERBÓLICO COMO COBERTURA

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



EXTRUSÃO

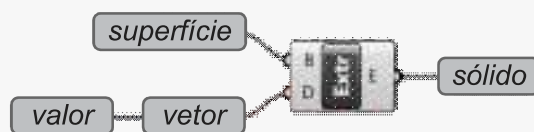
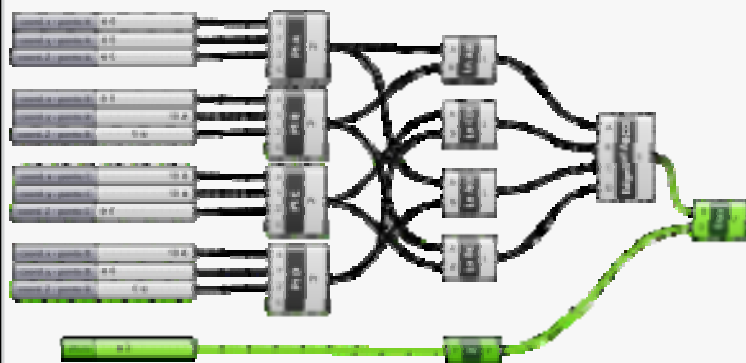


ENTRADA

B (base): superfície
D (direção): vetor

SAÍDA

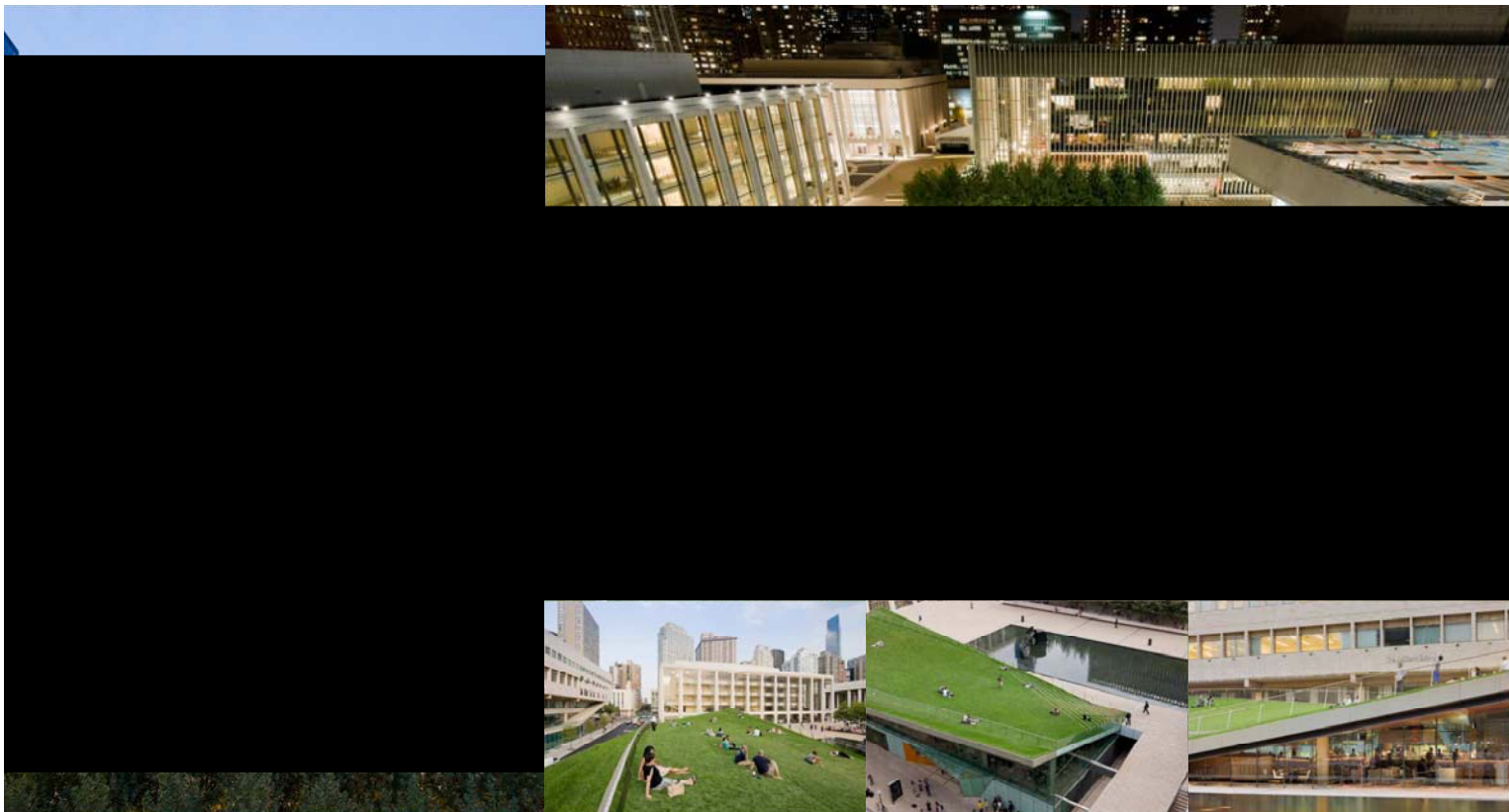
E (resultado da extrusão): sólido («brep»)



ATIVIDADE 2: CONFIGURAÇÃO DE UM PARABOLOIDE HIPERBÓLICO COMO COBERTURA

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva

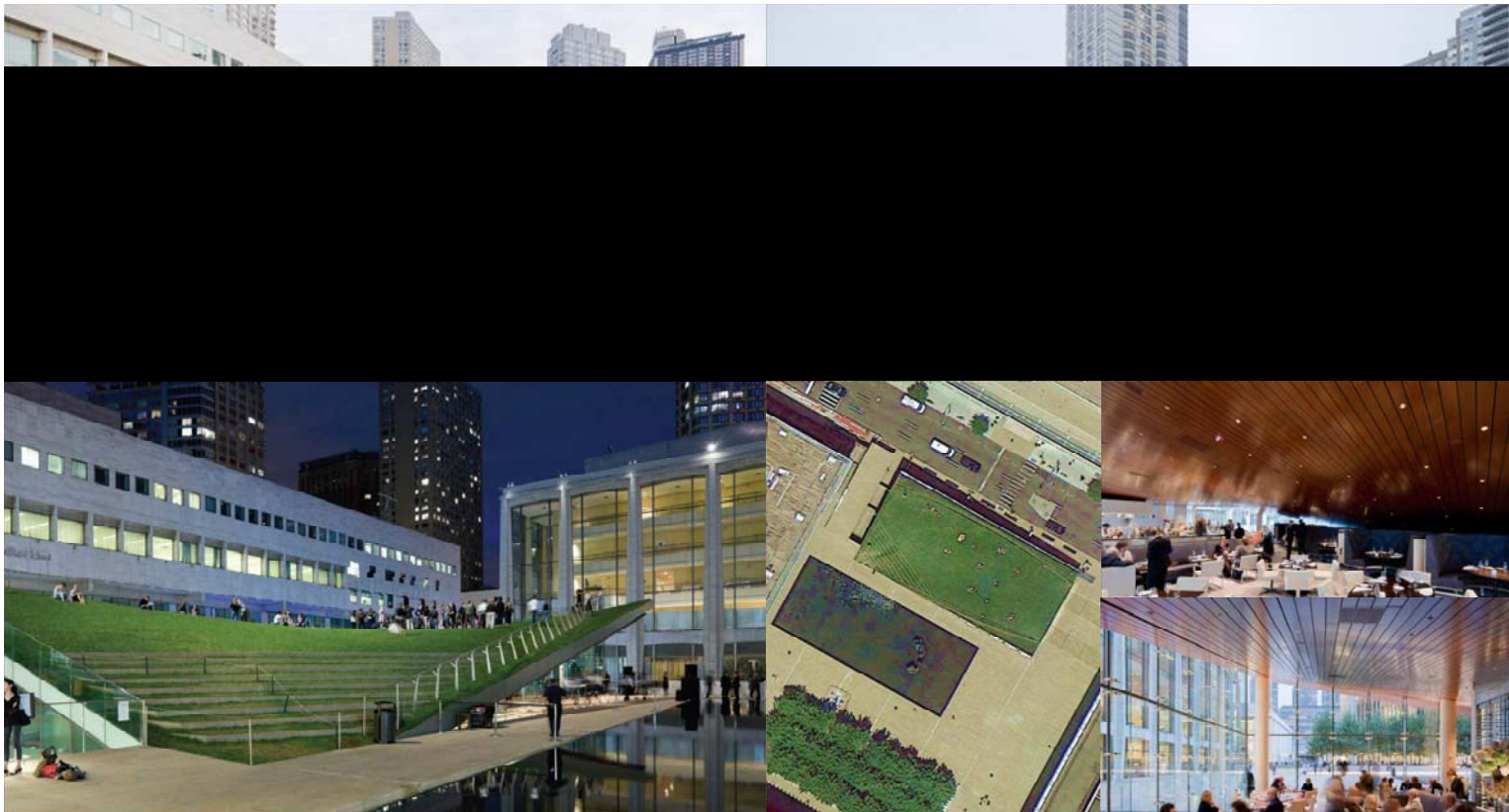




fonte: <<http://www.archdaily.com/94493/hypar-pavilion-diller-scofidio-renfro-with-fxfowle/>> <<http://www.dsny.com/>>

ATIVIDADE 2: CONFIGURAÇÃO DE UM PARABOLOIDE HIPERBÓLICO COMO COBERTURA

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva

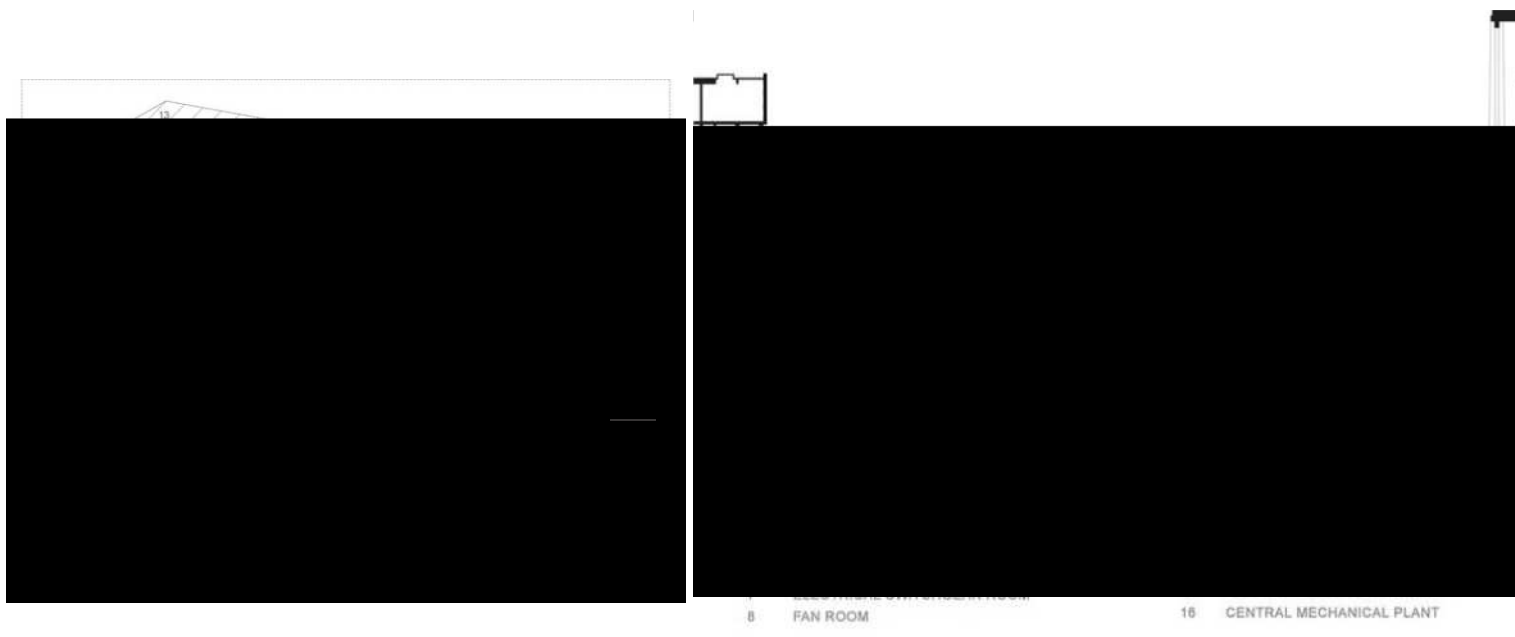


fonte: <<http://www.archdaily.com/94493/hypar-pavilion-diller-scofidio-renfro-with-fxfowle/>> <<http://www.dsny.com/>> <[googlemaps.com](https://www.google.com/maps/@40.769121, -87.631272, 15z)>

ATIVIDADE 2: CONFIGURAÇÃO DE UM PARABOLOIDE HIPERBÓLICO COMO COBERTURA

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva





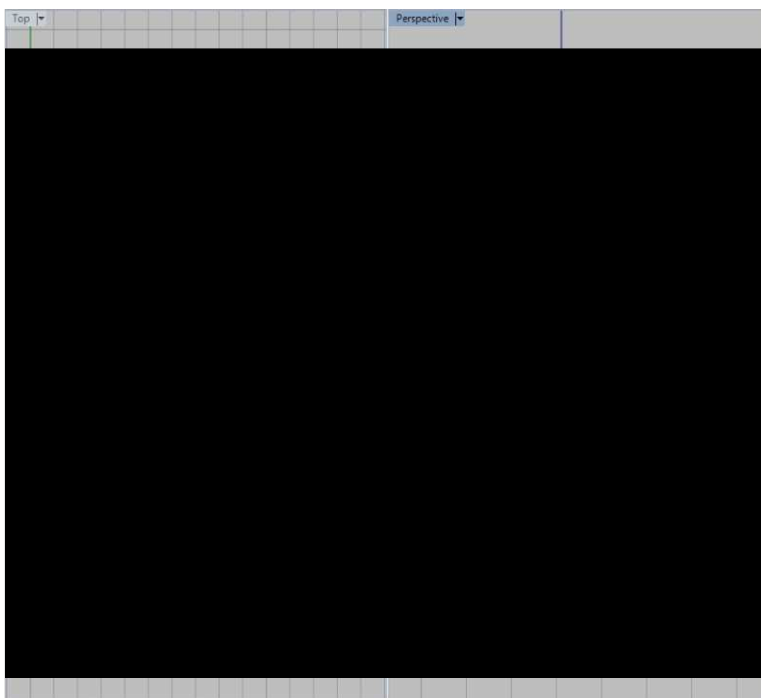
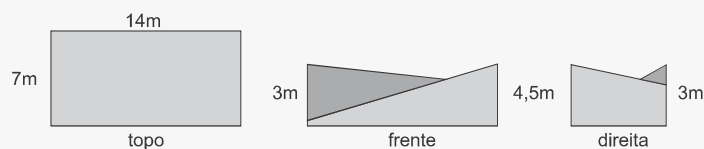
fonte: <<http://archrecord.construction.com/projects/portfolio/2011/06/Lincoln-Restaurant.asp>>

ATIVIDADE 2: CONFIGURAÇÃO DE UM PARABOLOIDE HIPERBÓLICO COMO COBERTURA

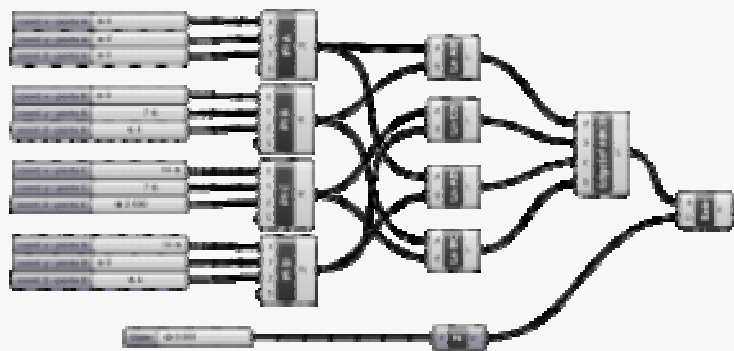
BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



REPRESENTAÇÃO PARAMÉTRICA DO HYPAR PAVILLION



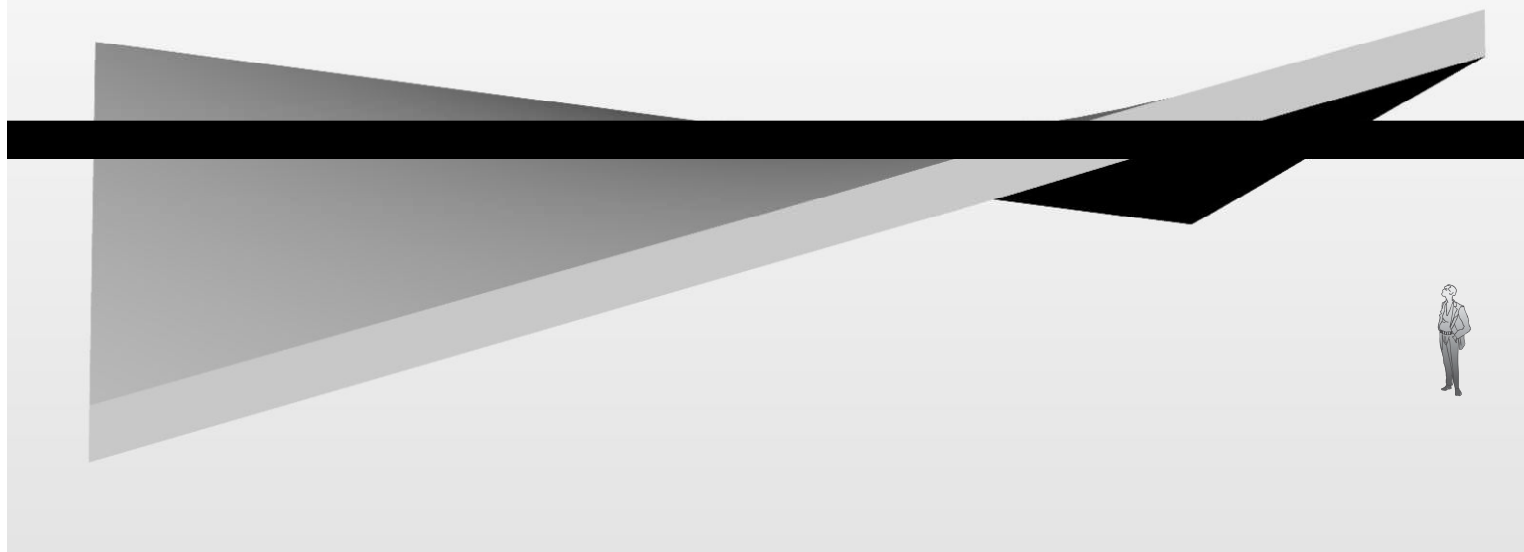
$A(0,0,0)$; $B(0,7,4)$; $C(14,7,2.5)$; $D(14,0,4)$
Altura da extrusão: 0.5



ATIVIDADE 2: CONFIGURAÇÃO DE UM PARABOLOIDE HIPERBÓLICO COMO COBERTURA

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva





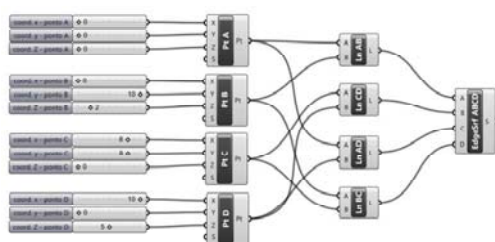
ATIVIDADE 2: CONFIGURAÇÃO DE UM PARABOLOIDE HIPERBÓLICO COMO COBERTURA

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



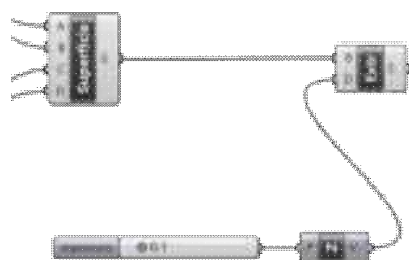
INSTRUÇÕES

O modelo final de um parabolóide hiperbólico construídos no Grasshopper deve possuir para cada ponto três variáveis numéricas que são controladas por «barras deslizantes» (sliders), essas variáveis são respectivamente as coordenadas «x», «y» (posição no plano «xy») e «z» (altura).



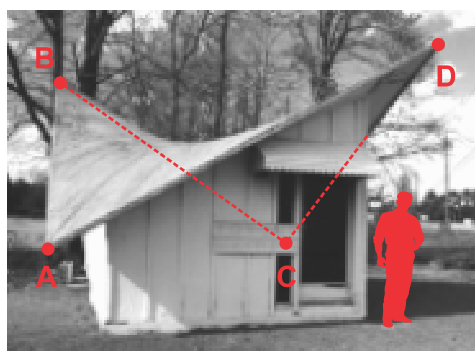
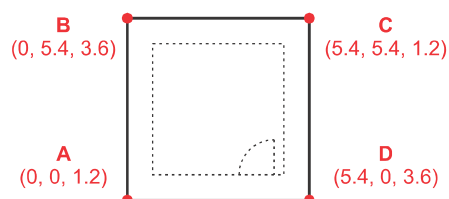
①

Tendo o elemento geométrico (parabolóide hiperbólico) modelado e parametrizado o próximo passo para configurar uma cobertura com este formato é determinar uma espessura. Isso deverá ser feito através de uma extrusão da superfície gerada.



②

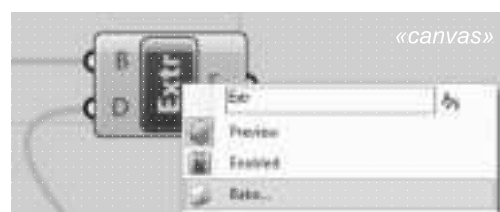
O modelo criado no Grasshopper será então utilizado para geração de variações coberturas com base nos exemplos apresentados nas páginas seguintes. Os parâmetros que deverão ser identificados nas obras e inseridos no modelo serão: posição dos vértices do parabolóide hiperbólico (pontos A, B, C e D) e a espessura do elemento construtivo (medidas em metros). Ex.:



espessura da cobertura = 0,10 m

③

Após identificar e aplicar as variáveis encontradas é necessário transformar os dados do Grasshopper em um sólido do Rhino. Para isso deve-se clicar no componente de extrusão (que ficará destacado pela cor verde) em seguida com o botão direito do mouse clicar no comando «Bake» e confirmar a operação.



Em seguida clique na tela (canvas) do Grasshopper para des-selecionar o componente extrusão. Com o sólido gerado no Rhino é possível então selecionar as áreas de visualização, realizar a captura da tela e renderizar o elemento final

* para selecionar a área que representa as vistas do elemento certifique-se que todas as janelas de visualização (viewports) do Rhino encontram-se extendidas

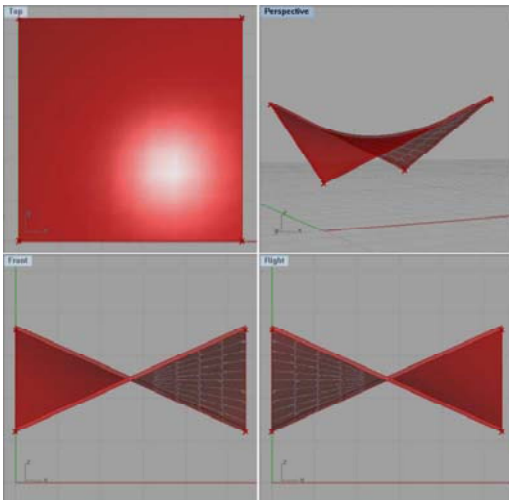


** a ferramenta de captura está localizada em: menu iniciar >> todos os programas >> acessórios >> ferramenta de captura.



4

Após a extensão das visualizações é necessário posicionar a perspectiva para melhor identificação do elemento (comando orbit no Rhino >> manter o botão direito do mouse pressionado enquanto realiza o movimento)
A captura deverá ser feita somente da tela do Rhino (como no exemplo) ocupando metade da tela.



5

Ao finalizar a construção do modelo, os valores de cada variável devem ser identificados no quadro no canto inferior direito (ponto A,B,C,D e espessura)

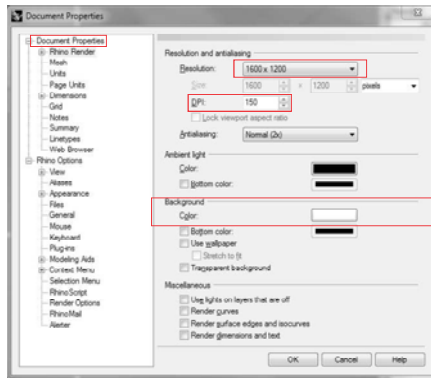
A: (, ,);
B: (, ,);
C: (, ,);
D: (, ,); ESPESSURA: ()

6

O último exercício deste etapa consiste em coletar uma imagem renderizada da obra reproduzida para compor o quadro que reúne todas as seis obras de referência

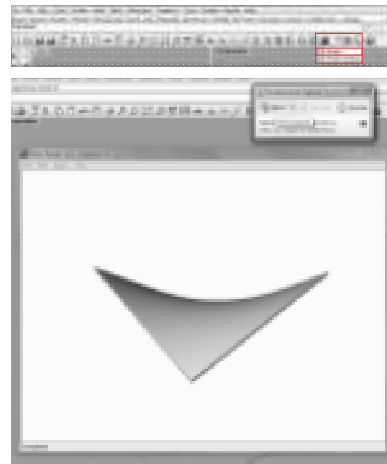


Para que a renderização fique clara e uniforme, é necessário trocar a cor do ambiente de preto para branco, a resolução para 1600x1200 e o DPI para 150.



7

Após renderizar realizar a captura da imagem.



8

Ao finalizar a atividade é necessário identificar o arquivo com o nome.

NomeDoAluno_GGD3_21Fev2013_Atividade_2.pptx

OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

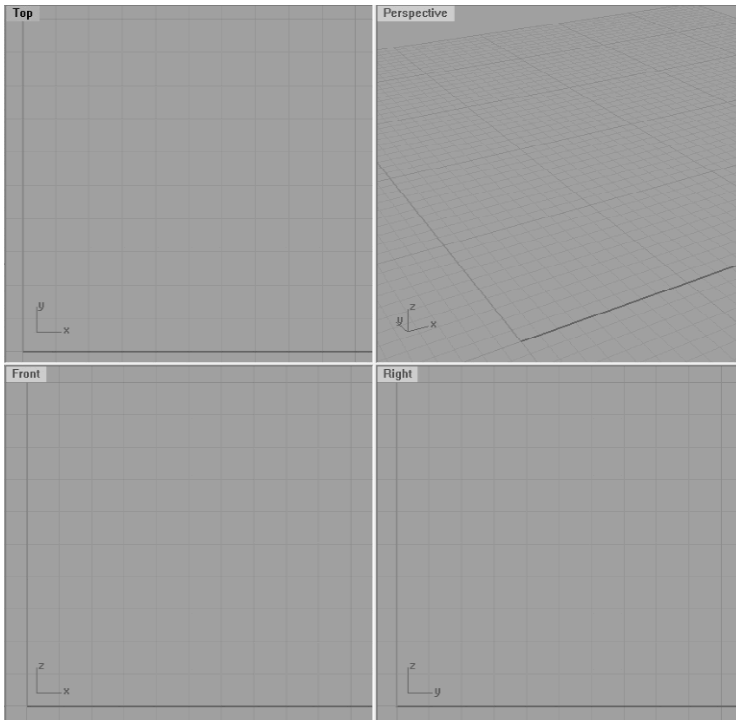
ATIVIDADE 2

REPRESENTAÇÃO DE COBERTURAS EM PARABOLÓIDE HIPERBÓLICO

PAGINA 2

Lobby do The Waikikian Hotel, 1956, Honolulu, E.U.A.

Arquiteto George J. "Pete" Wimberly



A: (, ,); B: (, ,);
C: (, ,); D: (, ,);
ESPESSURA: ()

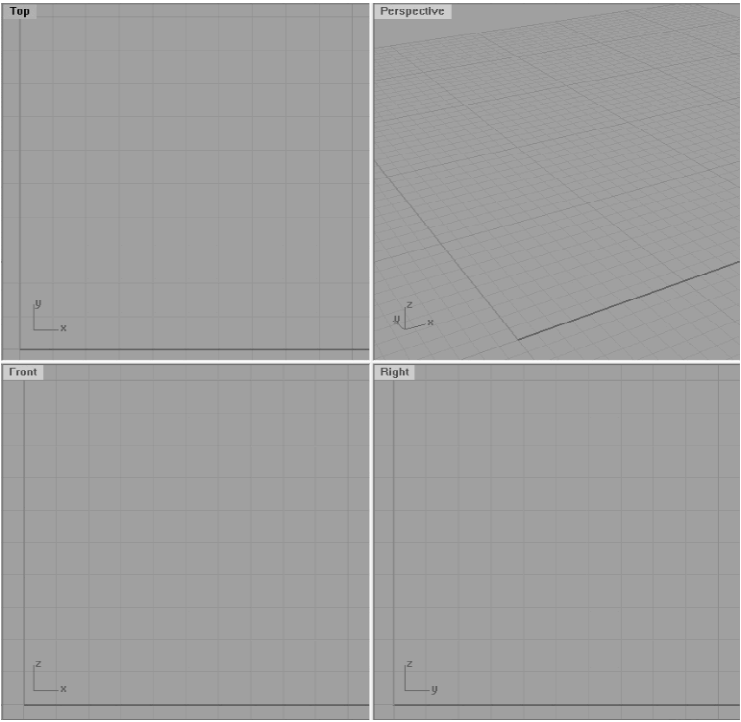
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

ATIVIDADE 2

OBRA 1

Igreja Luterana de Carlton Hills, 1960, San Diego, E.U.A.

Arquiteto Robert Des Lauriers



A: (_____, _____, _____) ; B: (_____, _____, _____) ;
C: (_____, _____, _____) ; D: (_____, _____, _____) ;
ESPESSURA: (_____)

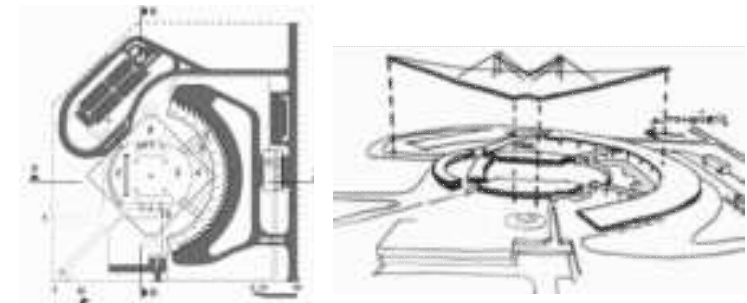
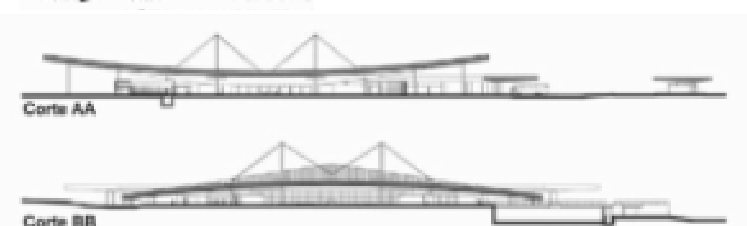
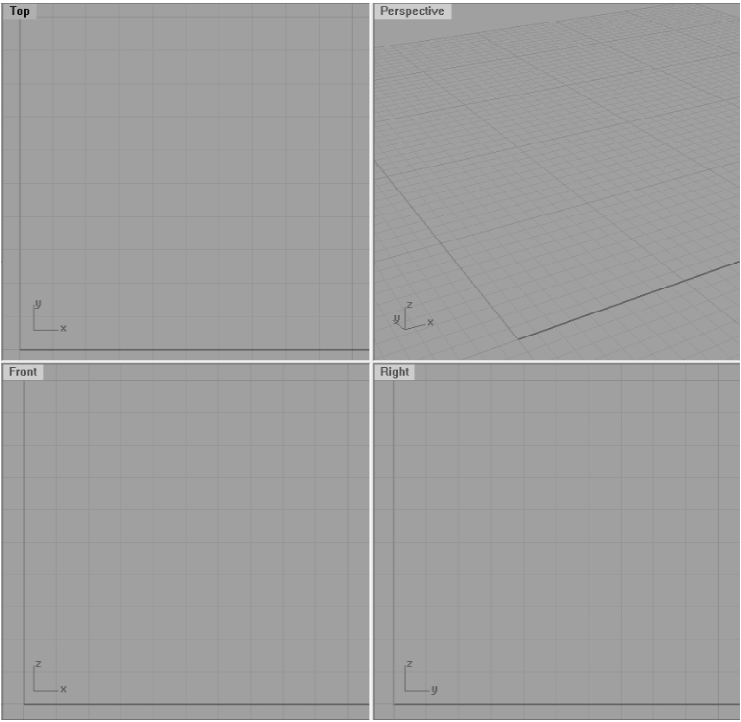
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

ATIVIDADE 2

OBRA 2

Novo Terminal Rodoviário de Brasília, 2010, D.F.

Reis Arquitetura



A: (_____, _____, _____) ; B: (_____, _____, _____) ;
C: (_____, _____, _____) ; D: (_____, _____, _____) ;
ESPESSURA: (_____)

OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

ATIVIDADE 2

OBRA 3

Casa Catalano, 1954, Raleigh, E.U.A.

Arquiteto Eduardo Fernando Catalano

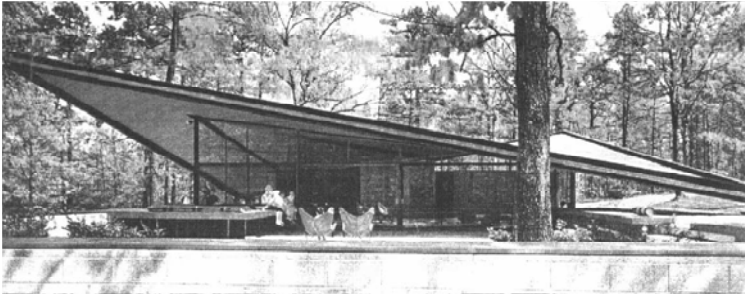
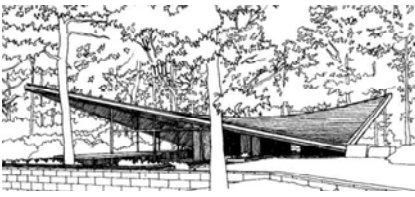
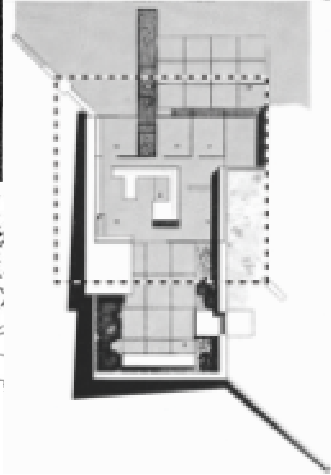
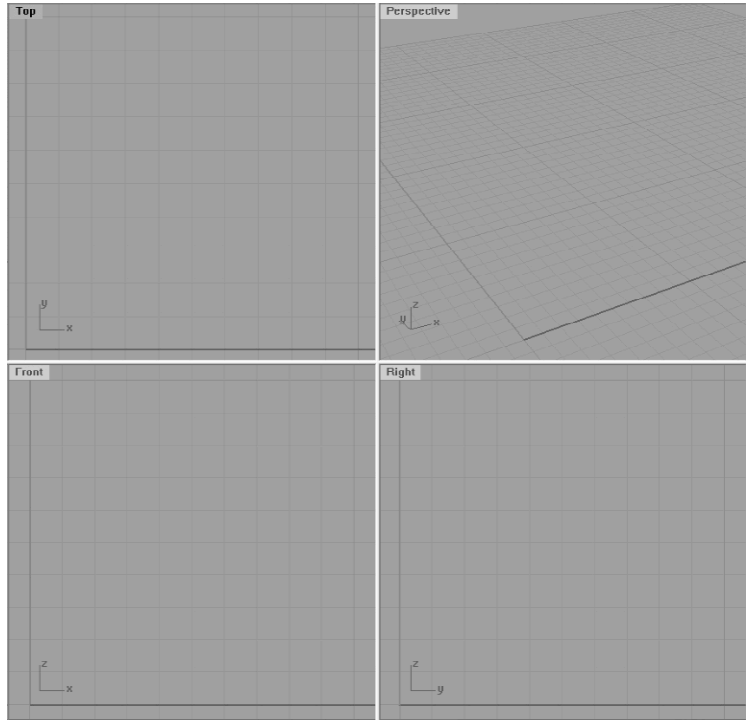


Diagram of hyperbolic paraboloid roof, House 1, Rome, August 1955



A: (_____,_____,_____) ;

B: (_____,_____,_____) ;

C: (_____,_____,_____) ;

D: (_____,_____,_____) ;

ESPESSURA: (_____) ;

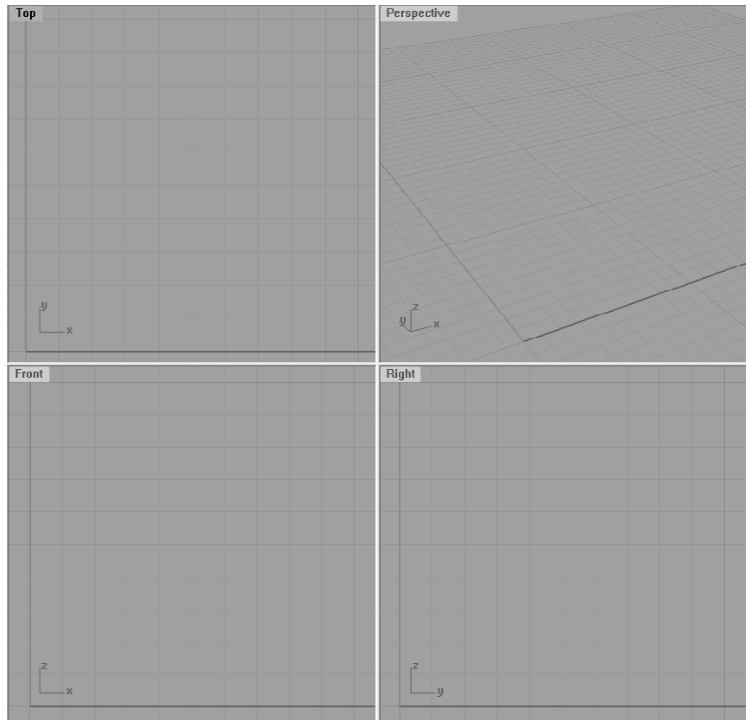
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

ATIVIDADE 2

OBRA 4

Estação de Trem Warszawa Ochota, 1963, Varsóvia, Polónia

Arquitetos Arseniusz Romanowicz e Piotr Szymaniak



A: (_____,_____,_____) ;

B: (_____,_____,_____) ;

C: (_____,_____,_____) ;

D: (_____,_____,_____) ;

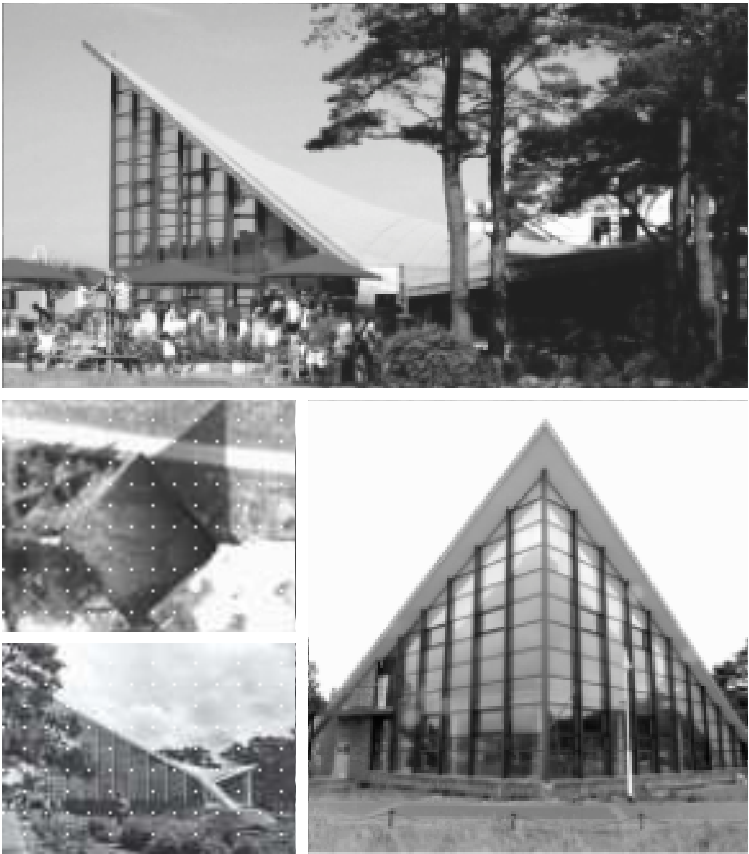
ESPESSURA: (_____) ;

OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

ATIVIDADE 2

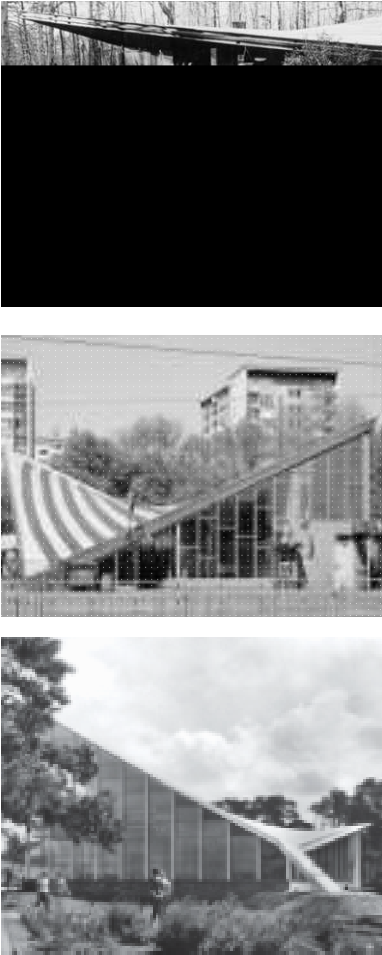
OBRA 5

Restaurante Ostseeperle, 1968, Glowe, Alemanha
Engenheiro Ulrich Mütter



Top	Perspective
Front	Right
A: (_____, _____, _____) ; B: (_____, _____, _____) ;	
C: (_____, _____, _____) ; D: (_____, _____, _____) ;	
ESPESSURA: (_____)	

OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO		
ATIVIDADE 2	OBRA 6	



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO		
ATIVIDADE 2	OBRAS RENDERIZADAS	

ATIVIDADE 3: SUBTRAÇÃO DE SEÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



Velódromo Olímpico de Londres - Londres, R.U., 2011 - Hopkins Architects

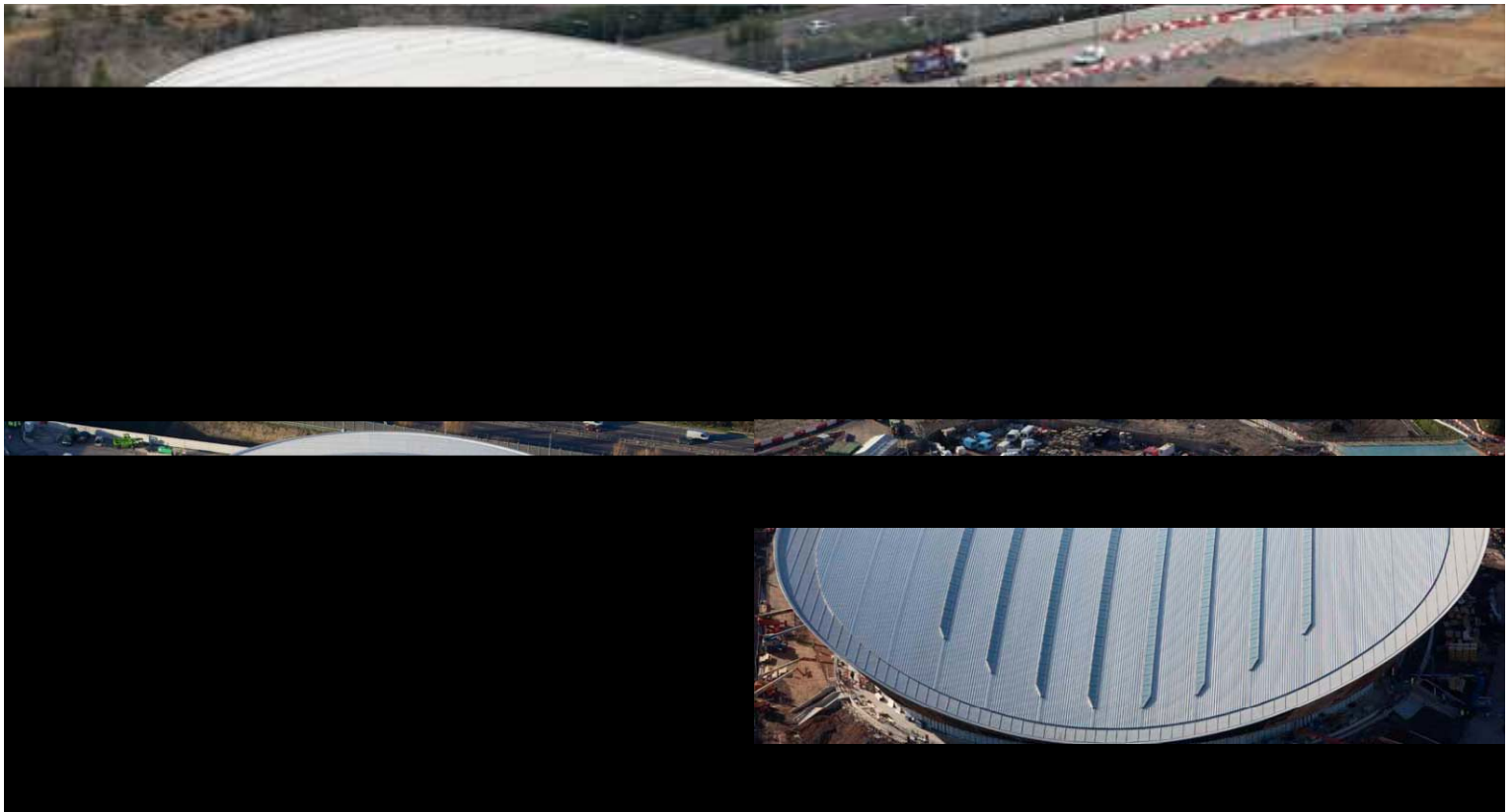


fonte: <<http://www.olympic.org/london-2012-summer-olympics>> <<http://www.hopkins.co.uk/>>

ATIVIDADE 3: SUBTRAÇÃO DE SEÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva

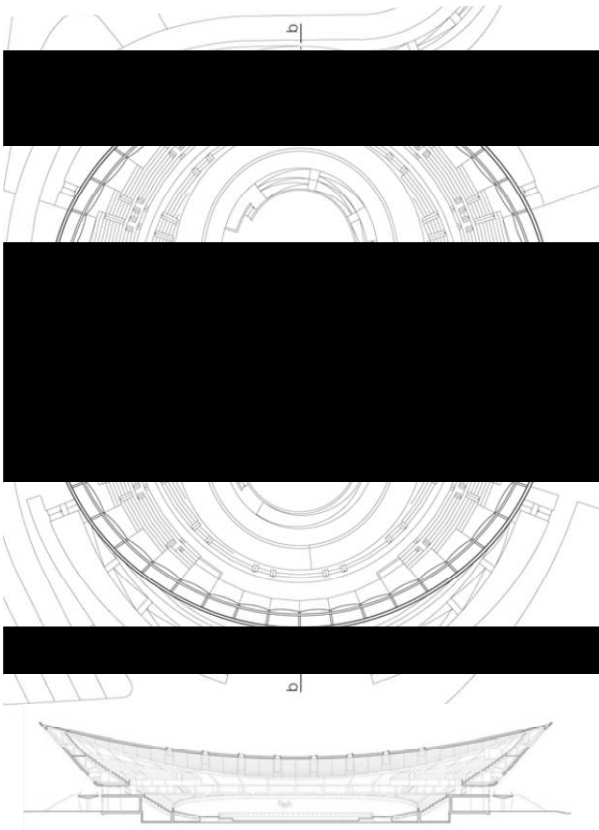
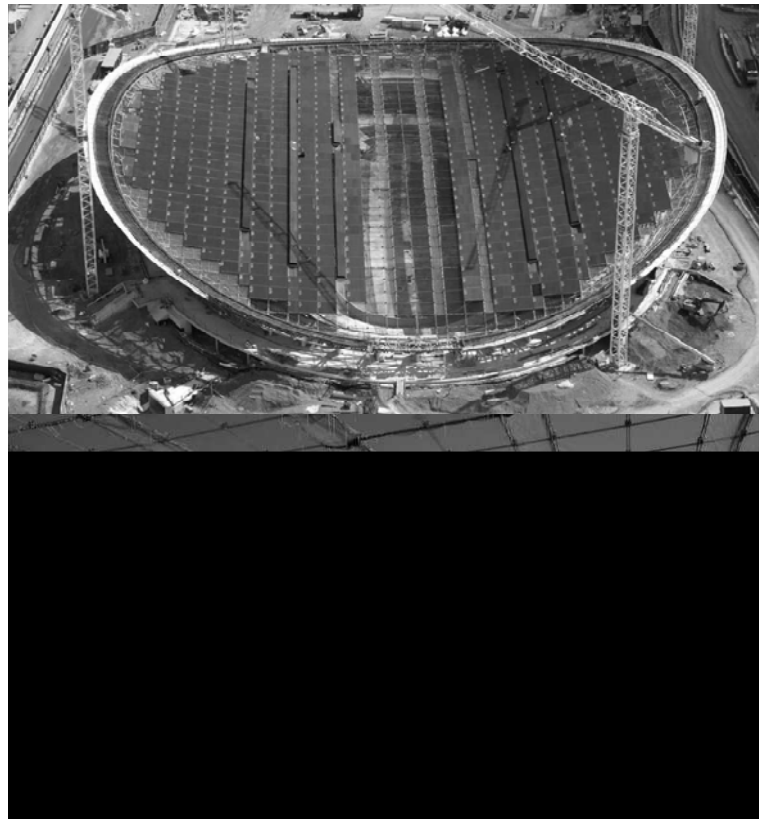




fonte: <<http://www.olympic.org/london-2012-summer-olympics>> <<http://www.hopkins.co.uk/>>

ATIVIDADE 3: SUBTRAÇÃO DE SEÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



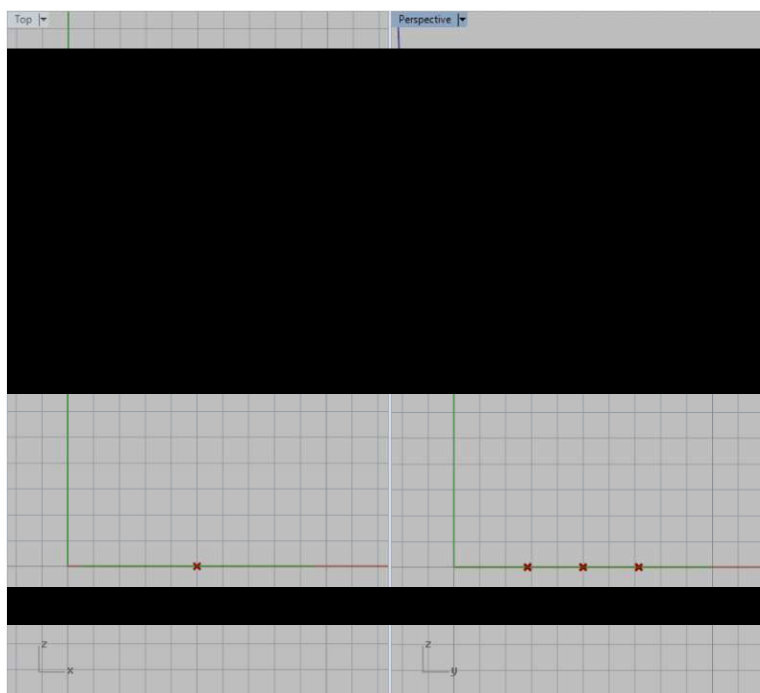
fonte: <<http://www.olympic.org/london-2012-summer-olympics>> <<http://www.hopkins.co.uk/>>

ATIVIDADE 3: SUBTRAÇÃO DE SEÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



REPRESENTAÇÃO PARAMÉTRICA DO VELÓDROMO OLÍMPICO DE LONDRES

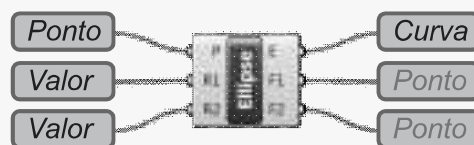


ENTRADA

Ponto (P): Centro
Raio 1 (R1)
Raio 2 (R2)

SAÍDA

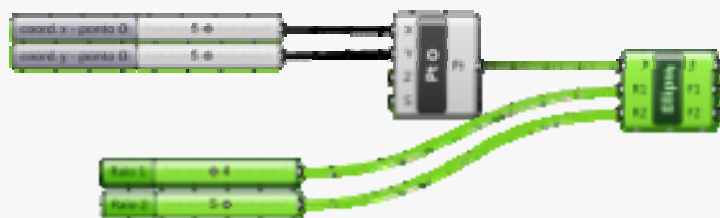
Elipse resultante (E): Curva
F1 e F2 : focos da elipse*



Centro (P): O(5,5,0)

Raio 1 (R1): 4

Raio 2 (R2): 5

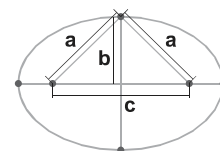


*Uma elipse é um conjunto de pontos do plano cuja soma das distâncias a dois pontos fixos é constante (2a) e maior do que a distância entre eles. Os pontos fixos são os focos da elipse. A distância entre os focos chama-se distância focal (2c).

Fonte: <<http://www.educ.fc.ul.pt/icm/icm2000/icm27/ellipse.htm>>

*fórmula para o cálculo do foco da elipse

$$c^2 = a^2 - b^2$$

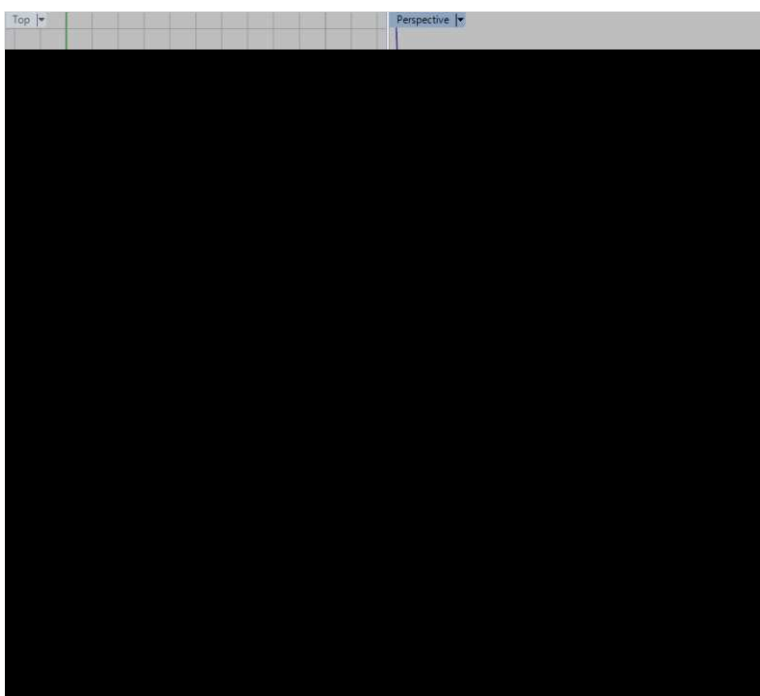


ATIVIDADE 3: SUBTRAÇÃO DE SEÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



REPRESENTAÇÃO PARAMÉTRICA DO VELÓDROMO OLÍMPICO DE LONDRES

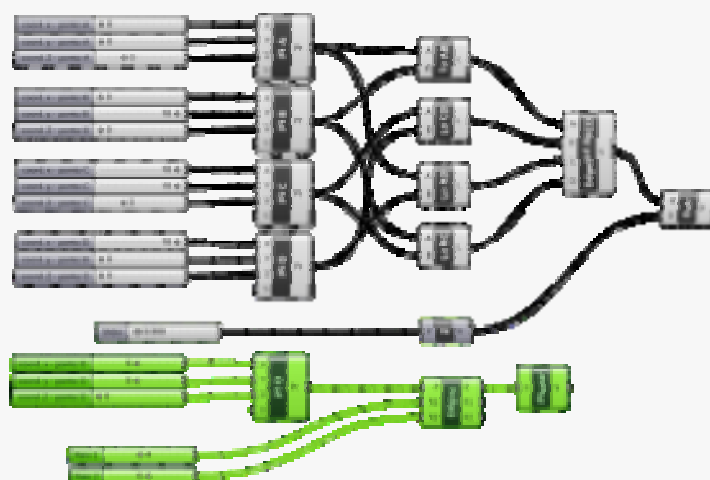


ENTRADA

Limites do plano (E):
Curva = Elipse

SAÍDA

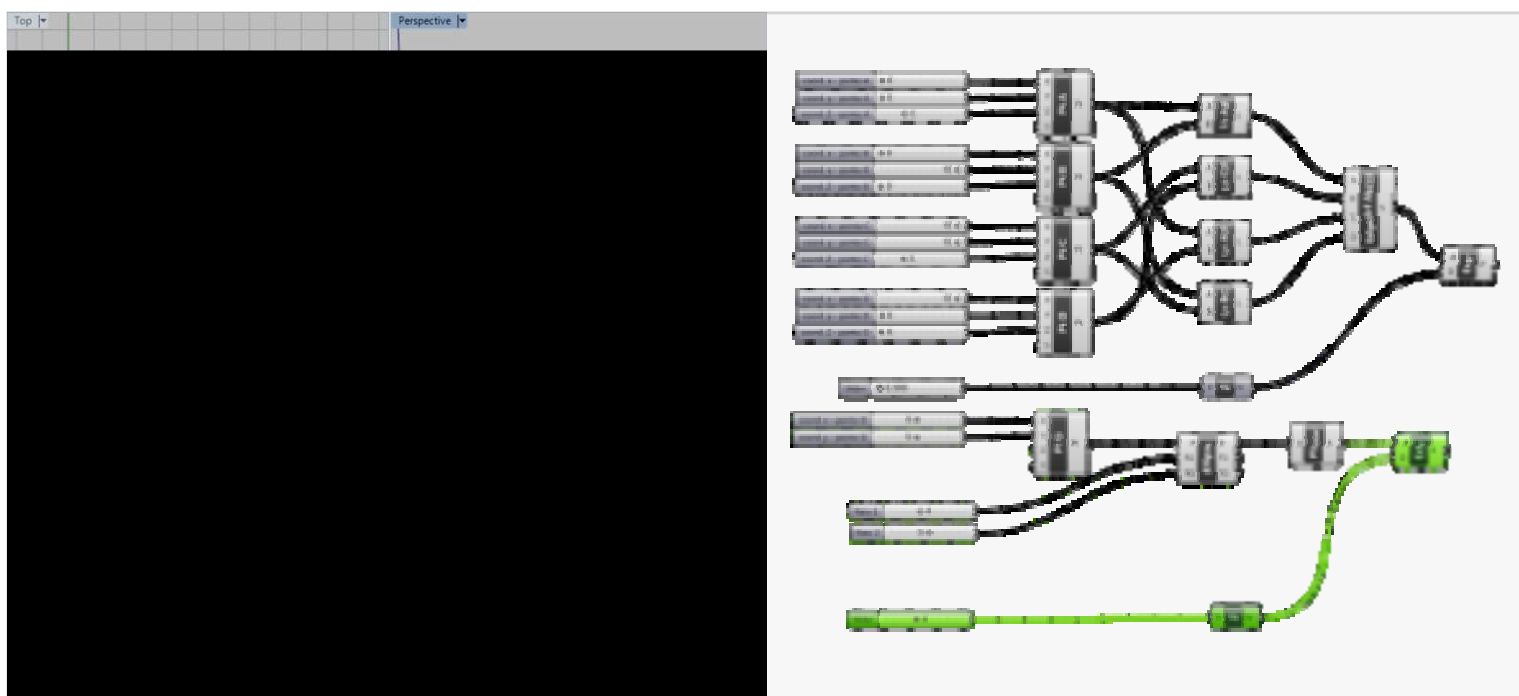
Superfície (S)



ATIVIDADE 3: SUBTRAÇÃO DE SEÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



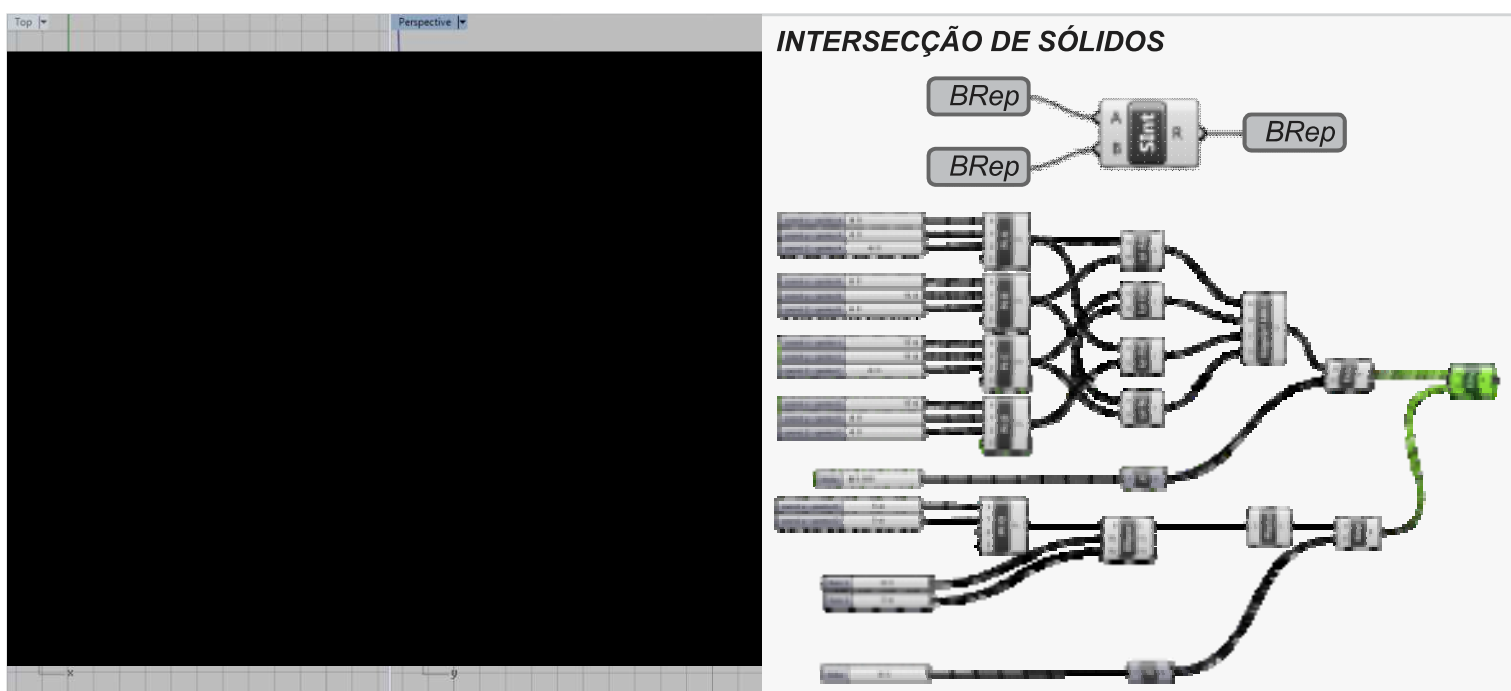


ATIVIDADE 3: SUBTRAÇÃO DE SEÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



REPRESENTAÇÃO PARAMÉTRICA DO VELÓDROMO OLÍMPICO DE LONDRES

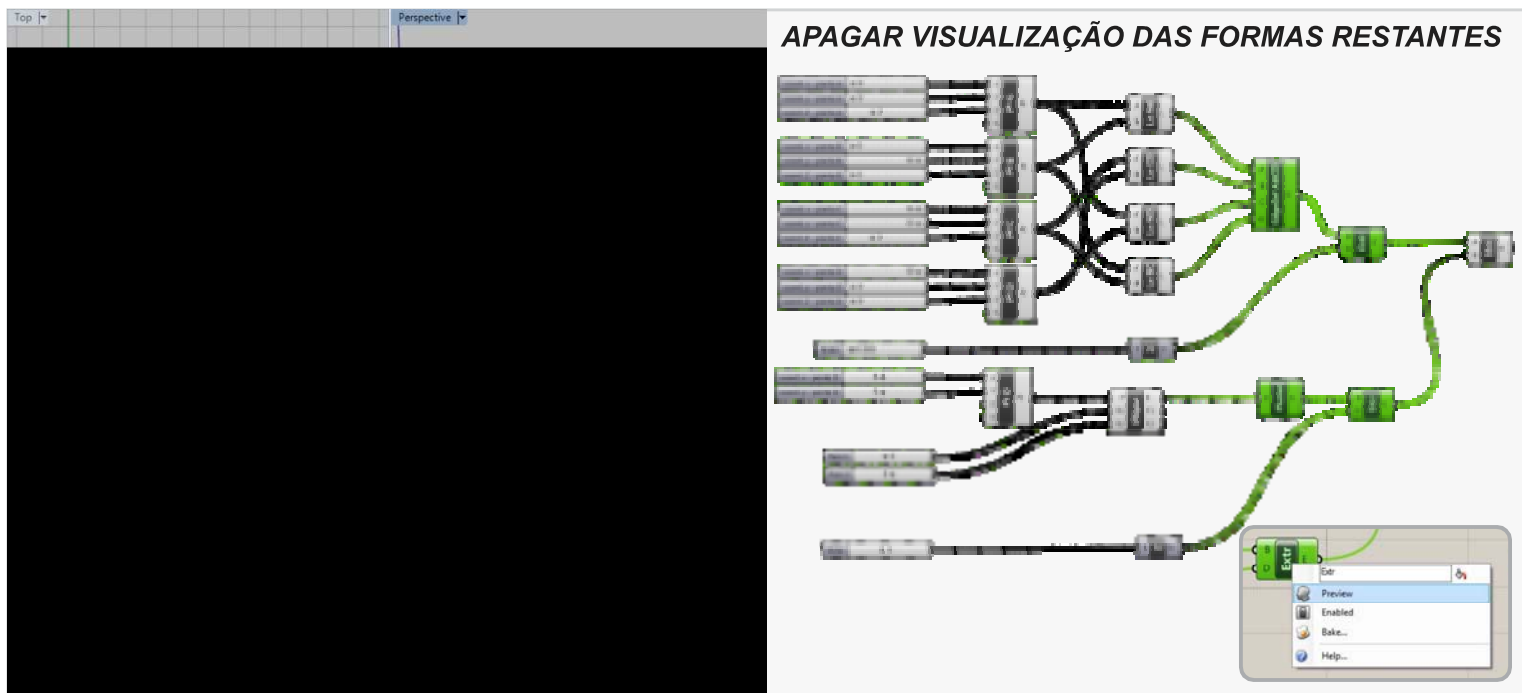


Brep - Boundary Representation (Representação de Limites): sólido determinado por seus limites

ATIVIDADE 3: SUBTRAÇÃO DE SEÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



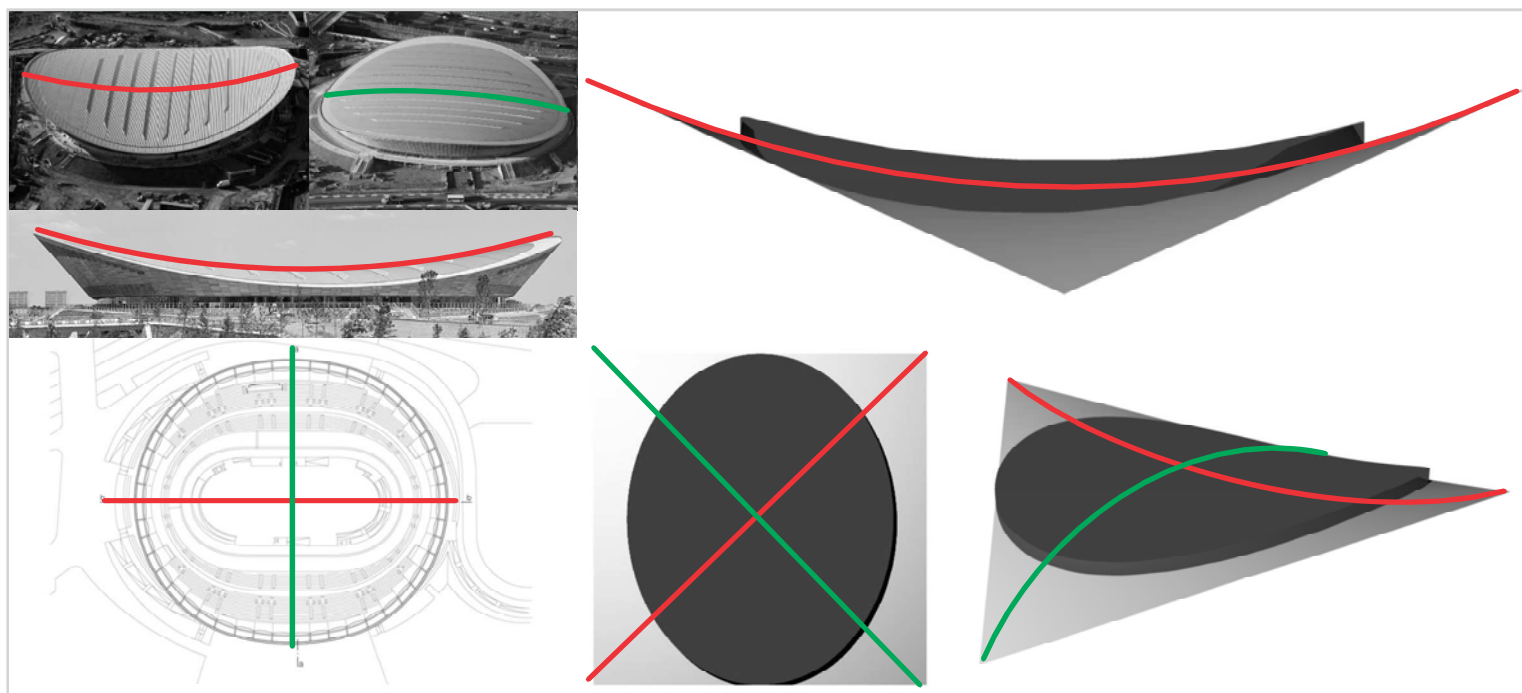


ATIVIDADE 3: SUBTRAÇÃO DE SEÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



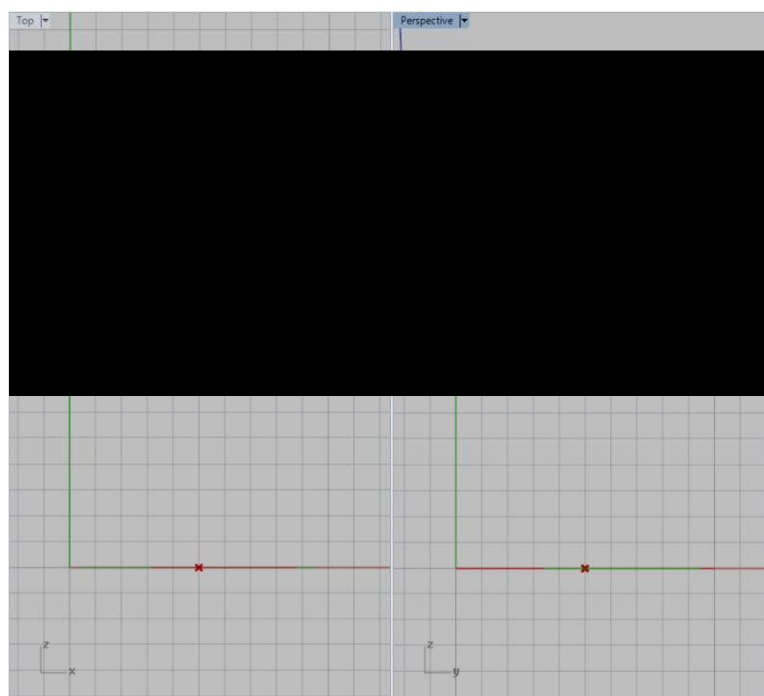
REPRESENTAÇÃO PARAMÉTRICA DO VELÓDROMO OLÍMPICO DE LONDRES



ATIVIDADE 3: SUBTRAÇÃO DE SEÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



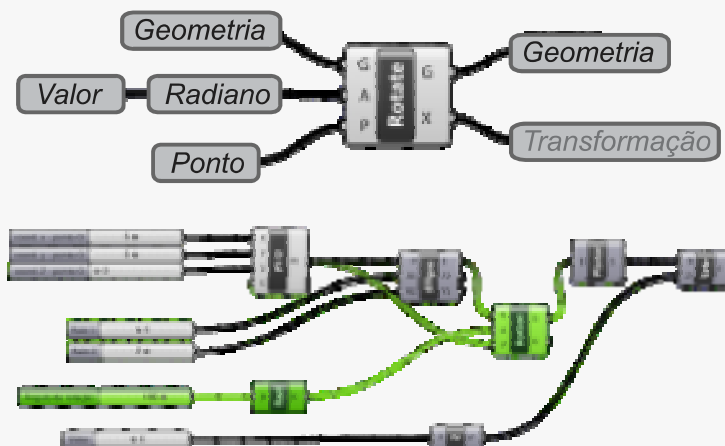


ENTRADA

Geometria (G)
Ângulo de rotação (A): 135°
Ponto (P): centro da rotação

SAÍDA

Geometria
rotacionada (G)
transformação (X)

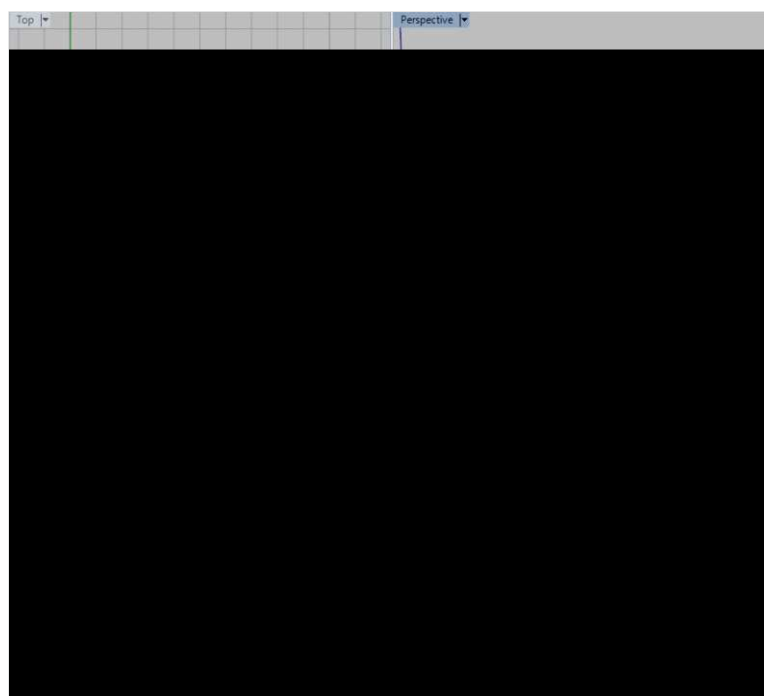
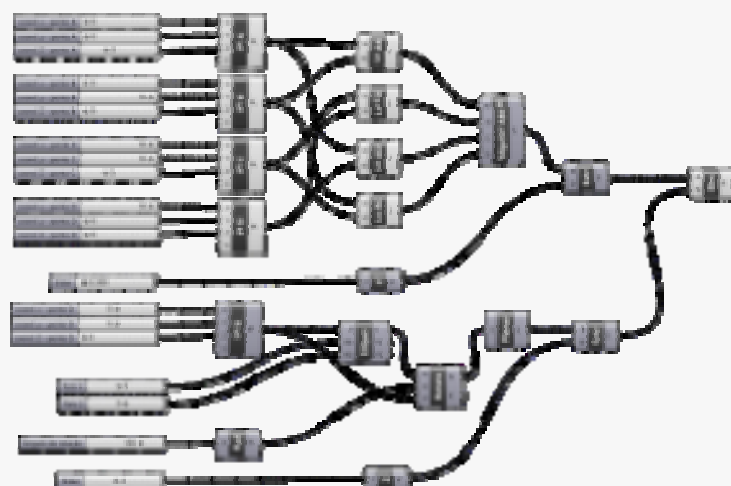


ATIVIDADE 3: SUBTRAÇÃO DE SEÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



REPRESENTAÇÃO PARAMÉTRICA DO VELÓDROMO OLÍMPICO DE LONDRES



ATIVIDADE 3: SUBTRAÇÃO DE SEÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



Posição dos vértices do parabolóide hiperbólico

Coordenadas do ponto A

Coordenadas do ponto B

Coordenadas do ponto C

Coordenadas do ponto D

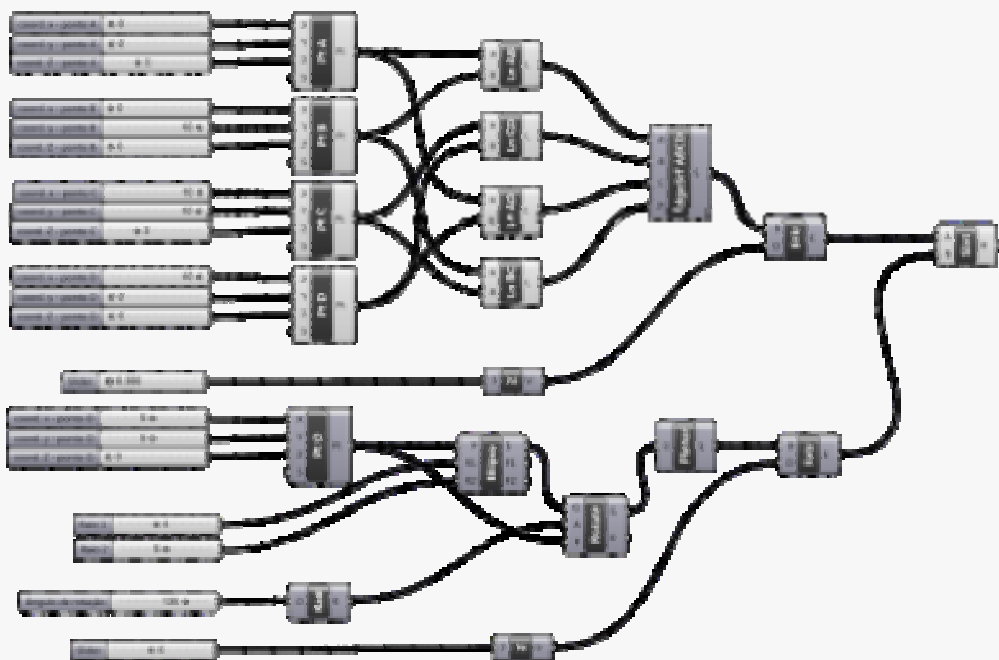
Extrusão: espessura da cobertura

Coordenadas do ponto O:
centro da elipse

Raios da elipse

Ângulo de rotação da elipse

Extrusão da seção



ATIVIDADE 3: SUBTRAÇÃO DE SEÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



REPRESENTAÇÃO PARAMÉTRICA DO VELÓDROMO OLÍMPICO DE LONDRES

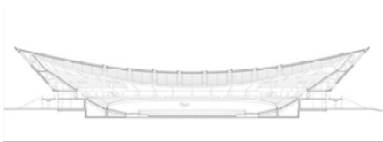
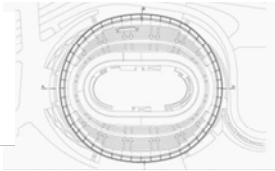
ATIVIDADE 3: SUBTRAÇÃO DE SEÇÃO DO PARABOLOIDE HIPERBÓLICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



Velódromo Olímpico de Londres, 2011, Londres, R.U.

Hopkins Architects



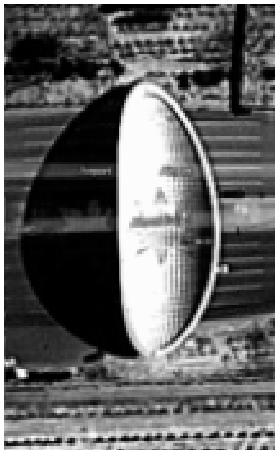
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

ATIVIDADE 3

MODELO

Pedágio do Aeroporto Internacional de Baku, 2013, Baku, Azerbaijão

Arup



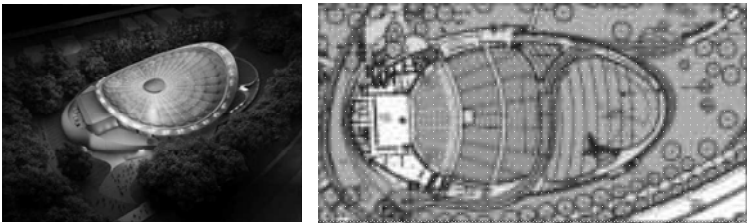
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

ATIVIDADE 3

OBRA 1

Anfiteatro Coney Island Center, Atlantic City, E.U.A.

Greimshaw Architects



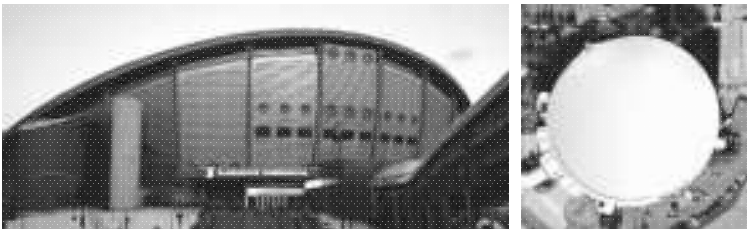
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

ATIVIDADE 3

OBRA 2

Saddledome, 1983, Calgerly, Canadá

Graham McCourt Architects



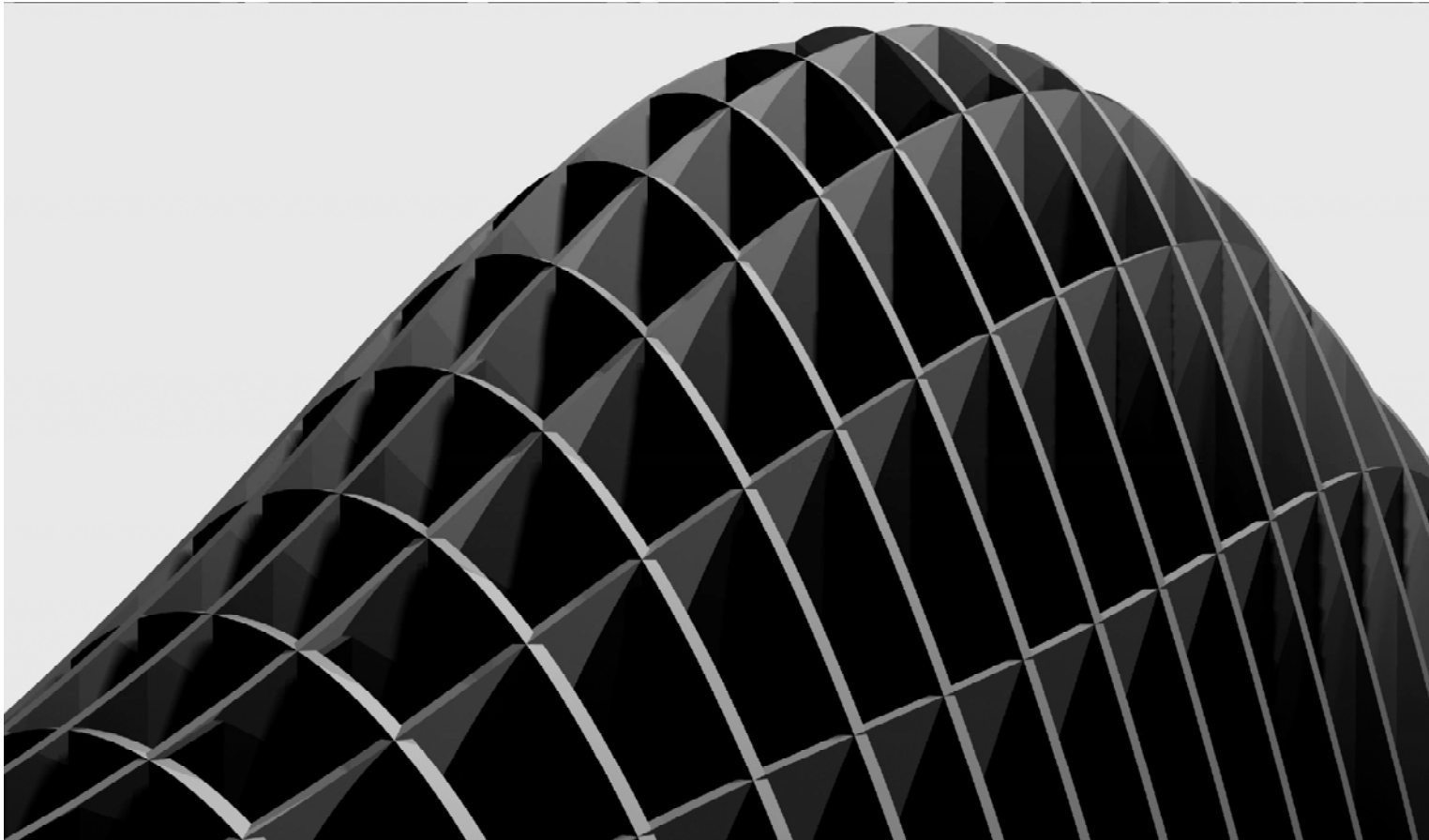
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

ATIVIDADE 3

OBRA 3

APÊNDICE B

ATIVIDADE 2 - OFICINA



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

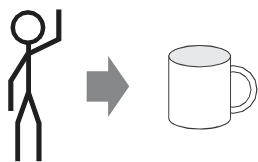
BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



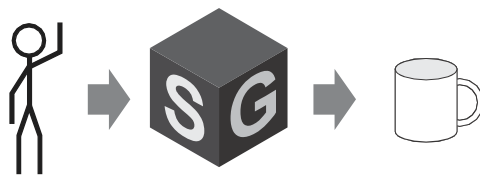
O que é *DESENHO PARAMÉTRICO*?

O desenho paramétrico é um processo de projeto que faz uso de um sistema generativo computacional para produções de soluções formais, através da **definição de parâmetros compositivos e da associação entre os elementos geométricos**.

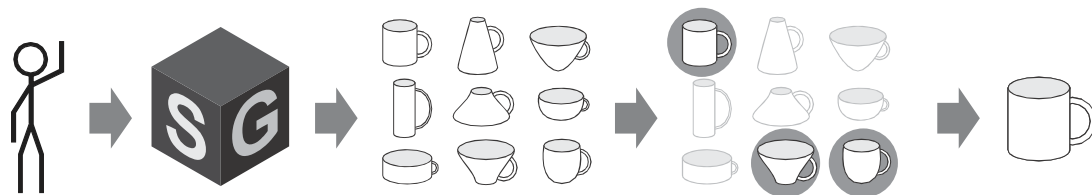
Em um processo paramétrico a forma é descrita pela articulação entre componentes compositivos e seus parâmetros. O controle dos valores atribuídos ao modelo **permite uma exploração da forma de maneira dinâmica, obtida simplesmente pela variação dos parâmetros** definidos no sistema pelo projetista.



ABORDAGEM TRADICIONAL AO PROJETO:
O PROJETISTA INTERAGE DIRETAMENTE COM A FORMA DO PRODUTO



ABORDAGEM GENERATIVA AO PROJETO:
O PROJETISTA INTERAGE COM O PRODUTO POR MEIO DE UM SISTEMA GENERATIVO



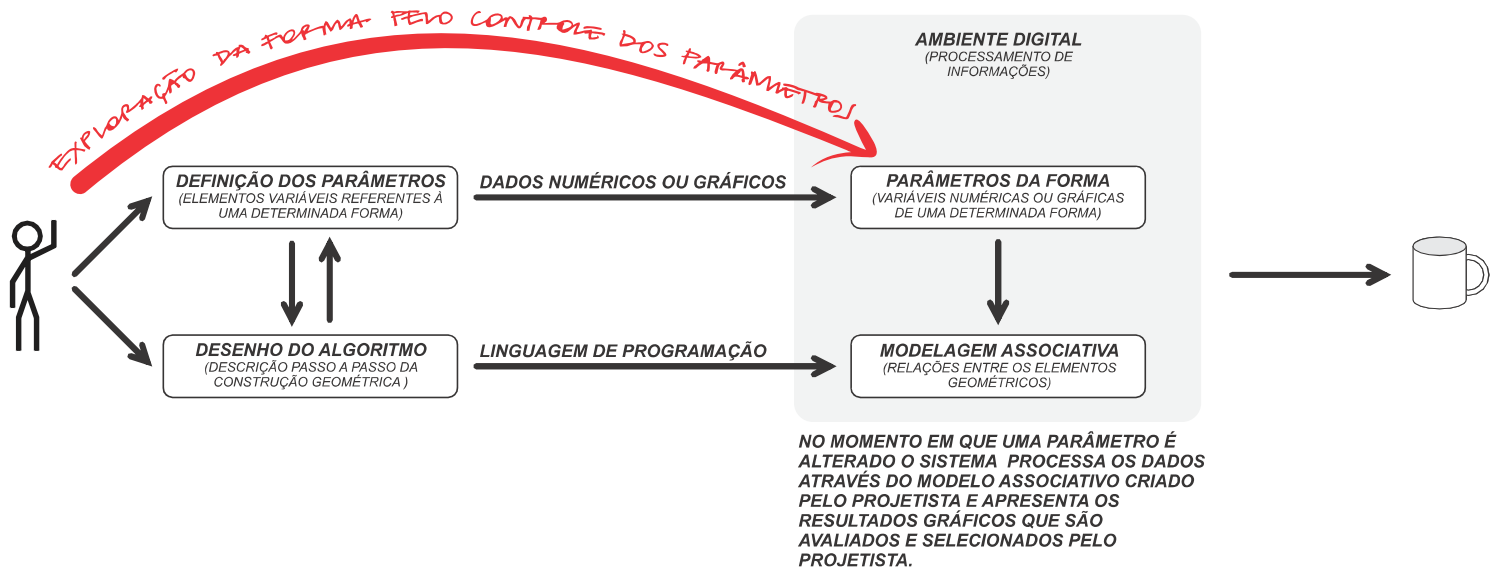
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



DESENHO PARAMÉTRICO

Um **sistema generativo** proporciona um meio de introdução de informações compositivas em um ambiente digital, permitindo a exploração e análise dinâmica de variações formais. A interação entre o projetista e o computador ocorre através do controle dos parâmetros e da definição da geometria que são fornecidos ao sistema de maneira codificada fazendo uso da linguagem de programação.

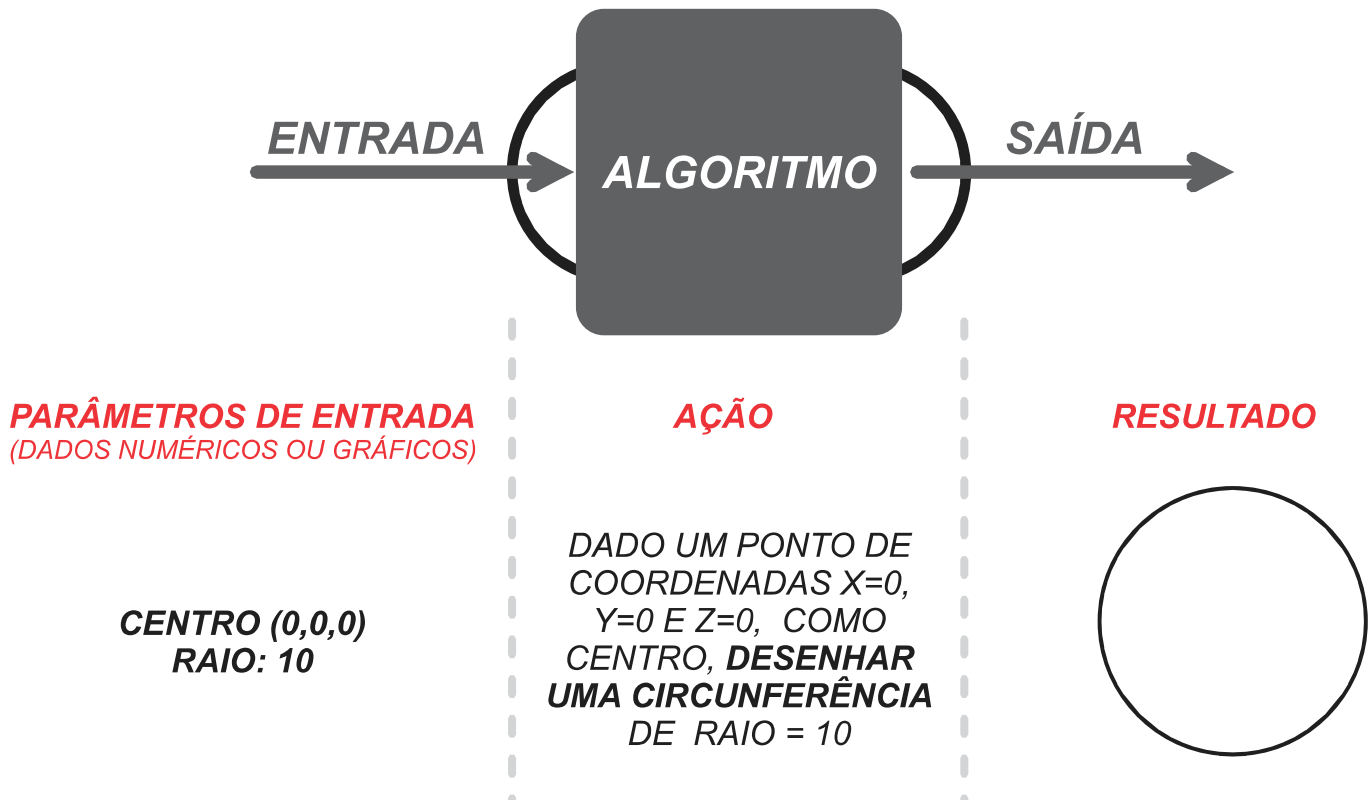


OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PROCESSO PARAMÉTRICO: DESENHANDO COM INFORMAÇÃO

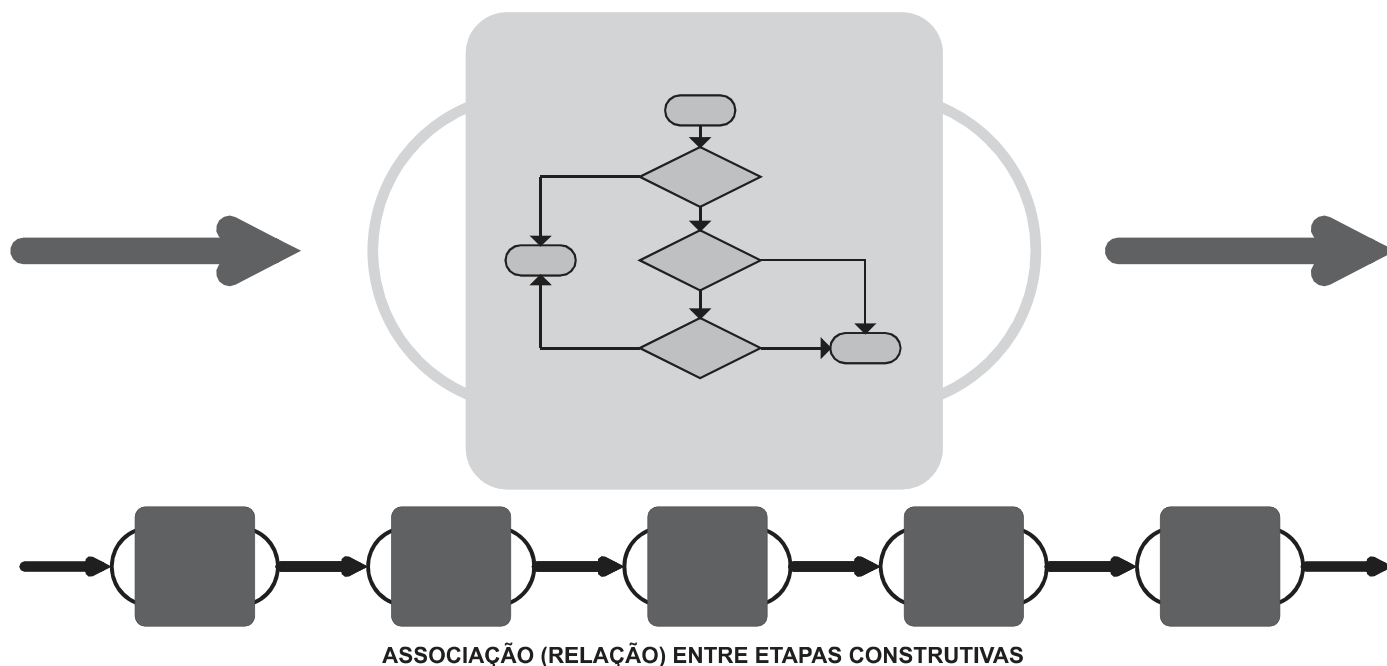


OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



Algoritmos escritos em linguagem de programação é como informação de desenho é introduzidas ao sistema. O Algoritmo fornece um passo a passo, como um organograma, das ações a serem realizadas. Em um processo paramétrico essas instruções estão inseridas individualmente em cada comando (componente) e na modelagem como um todo.

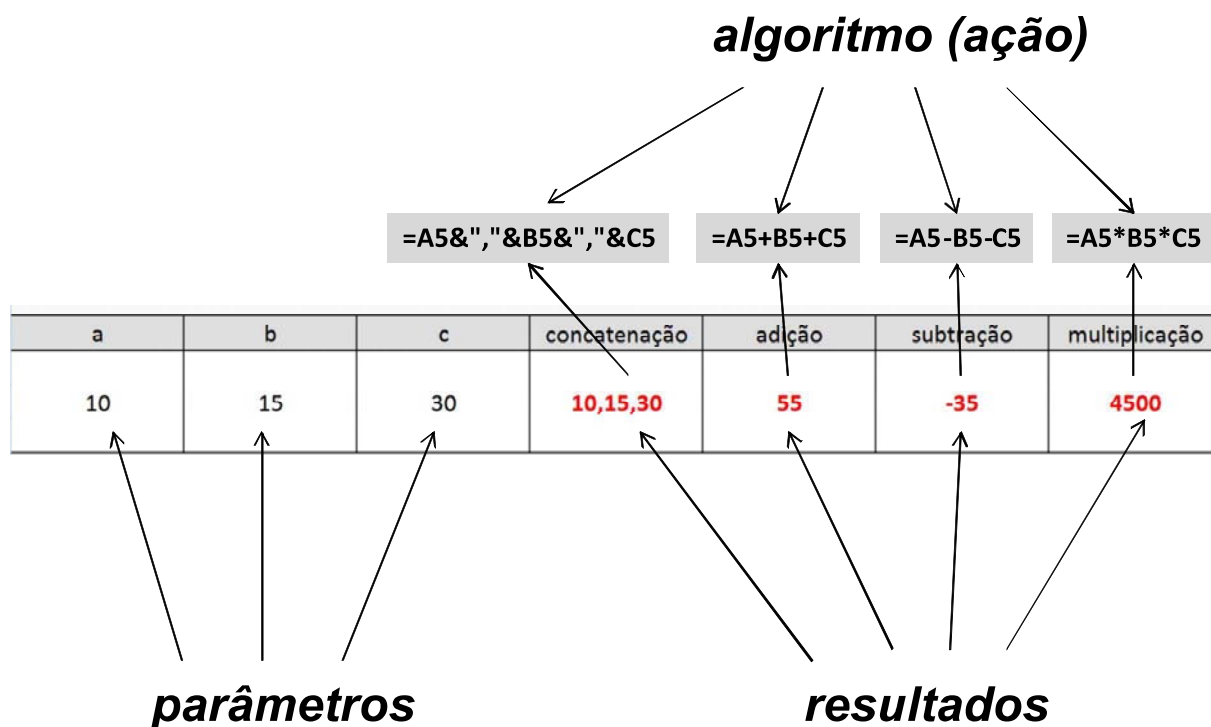


OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



O USO DE DADOS PARAMÉTRICOS É COMUM NA CRIAÇÃO DE TABELAS

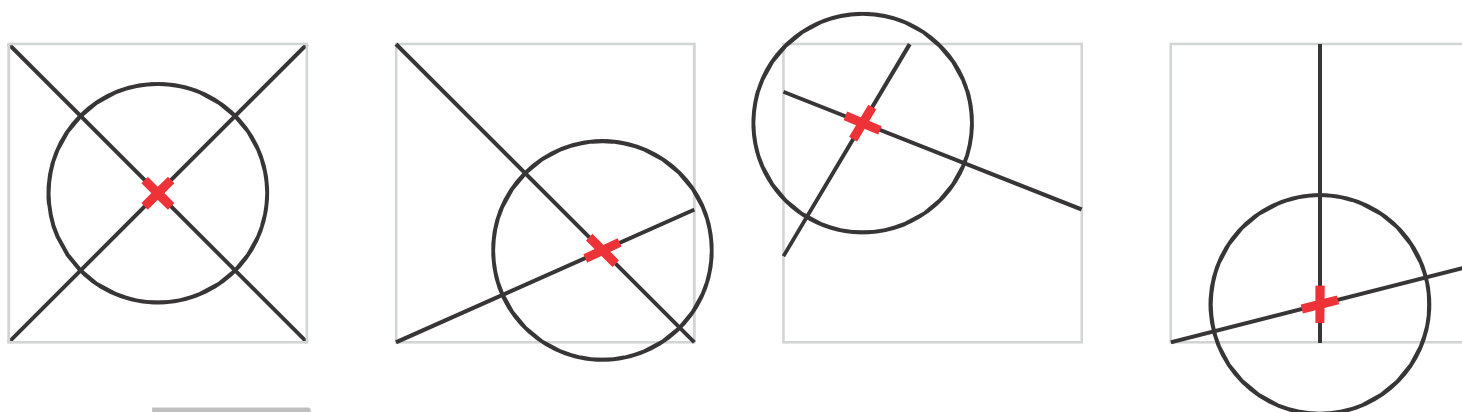
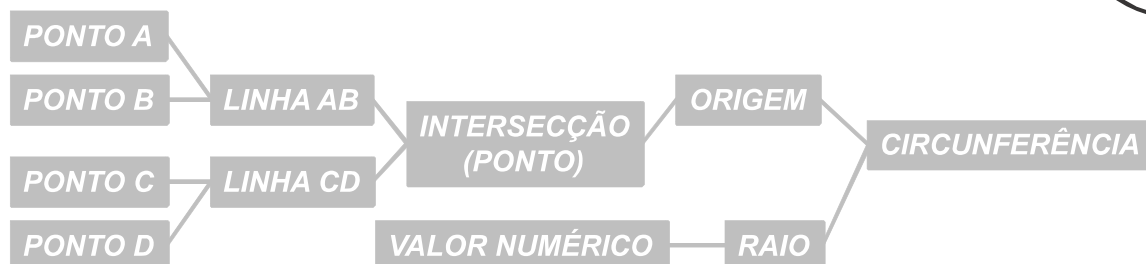


OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



O processo de modelagem por associação (desenho paramétrico) possibilita a geração de uma forma dinâmica relacionada com os outros elementos construtivos eliminando a necessidade do redesenho para edição e produção de variações formais.

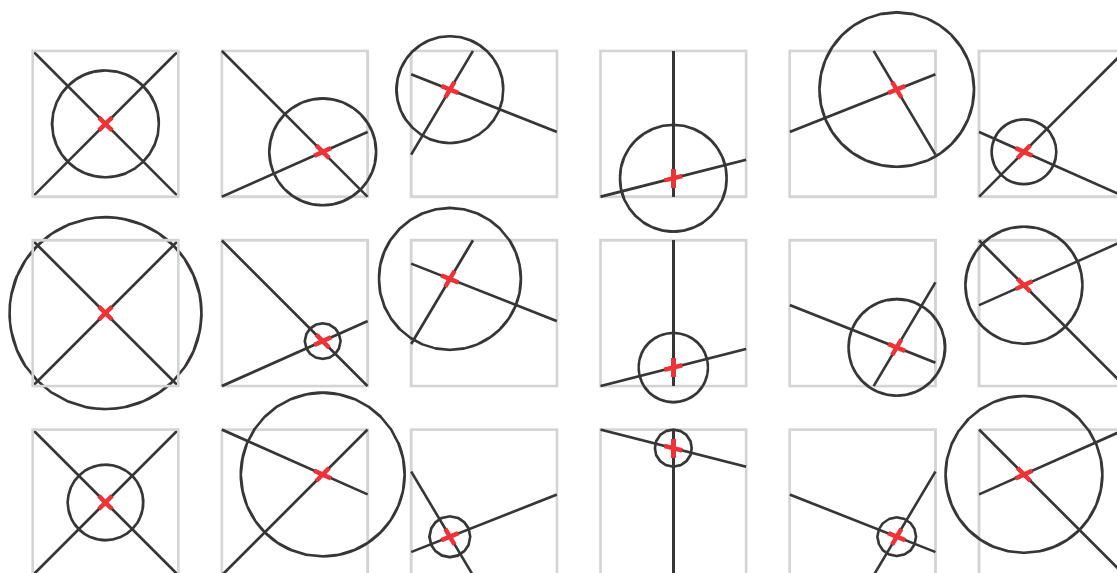
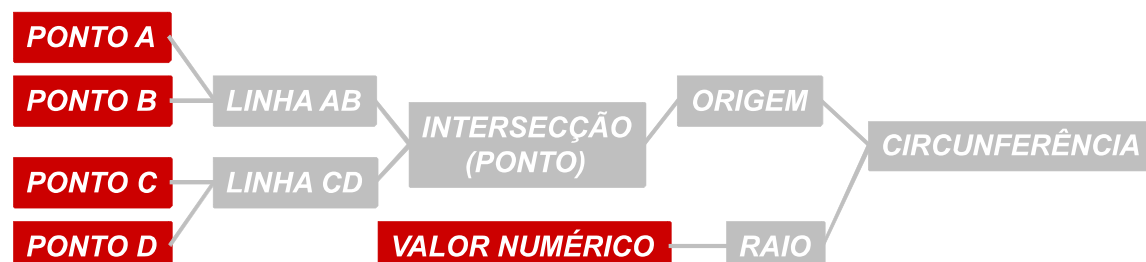


OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PROCESSO PARAMÉTRICO: DESENHANDO COM INFORMAÇÃO



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



No campo da arquitetura “o Museu Guggenheim de Bilbao (1992-1997) de Frank Gehry foi o mais proeminente catalisador de teorias sobre novas direções formais, postulando uma nova metodologia de projeto” (OXMAN, 2006)



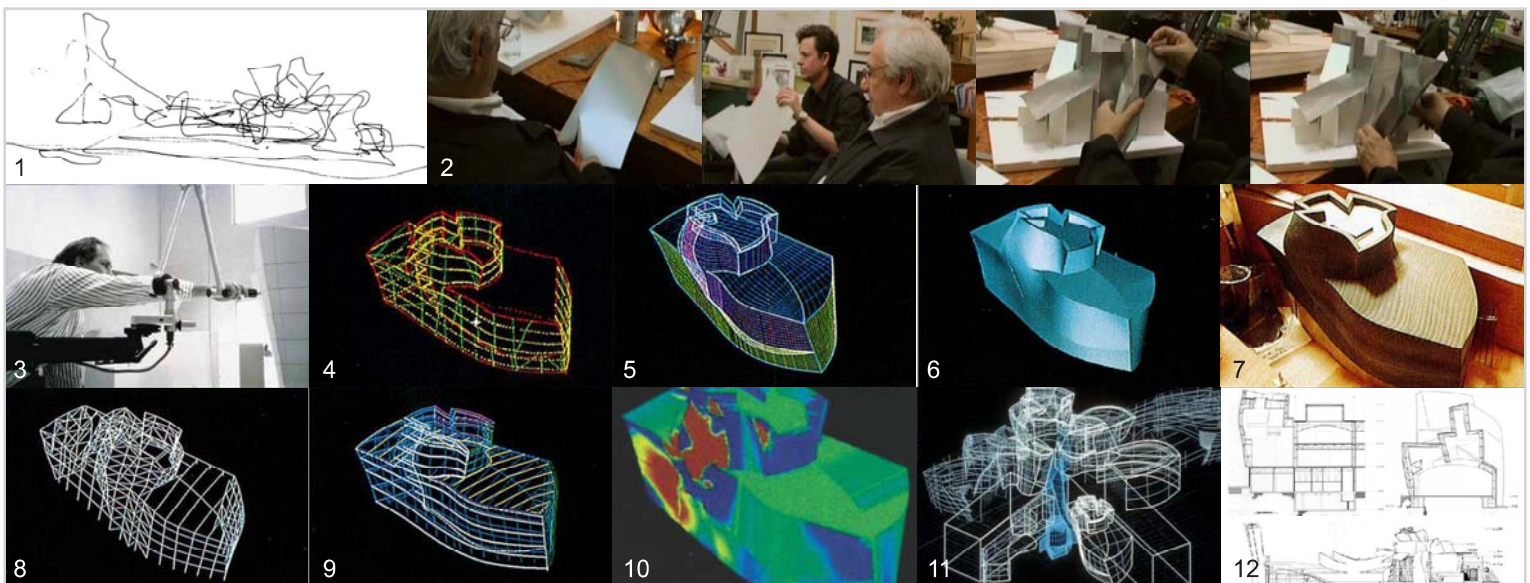
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



MUSEU GUGGENHEIM BILBAO - FRANK GEHRY - BILBAO, ESPANHA, 1992 – 1997

O resultado do processo de Gehry introduz no campo da arquitetura novas abordagens geométricas, onde a busca formal resulta em volumes livres e altamente complexos, que são posteriormente viabilizados por meios computacionais criando uma relação de mão-dupla entre o modelo físico e o modelo digital (OXMAN, 2006)



1) croquis 2) maquetes de estudo 3) digitalização do modelo físico 4) pontos digitalizados 5) modelo de superfície 6) modelo sombreado 7) maquete prototipada por fresa a partir do modelo digital 8) estrutura primária 9) estrutura secundária 10) análise das curvas 11) modelo digital completo 12) representações 2D geradas a partir do modelo digital

OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



Nos projetos de arquitetura contemporâneos as mídias digitais vêm crescentemente sendo usadas não como ferramenta de representação para visualização, mas sim como uma ferramenta generativa para criação de formas e transformações. Pela primeira vez na história arquitetos estão projetando não a forma específica do prédio mas um grupo de princípios codificados como uma sequência de equações paramétricas pela qual diferentes instancias do projeto podem ser geradas ou modificadas quando necessárias. O projeto paramétrico clama pela rejeição de soluções fixas e pela exploração de potencialidades infinitamente variáveis. (KOLAREVIC, Digital Morphogenesis, 2005)

A partir desse modelo formativo o projetista tem a sua disposição um meio interativo que torna possível a modelagem formal através de técnicas digitais. Dessa maneira o usuário pode interagir com o modelo por meio de linguagem computacional e usar ferramentas que aumentam a liberdade e o controle do na criação de um projeto. (OXMAN, Theory and design in the first digital age, 2006)

As mudanças formais observadas ultimamente no campo da arquitetura são um reflexo direto das novas condições criadas pela revolução digital. Prédio que um dia foram desenhos materializados, cada vez mais são informação digital materializada - projetados com ajuda de sistemas computadorizados de auxílio ao desenho (CAD); suas partes produzidas através de máquinas digitalmente controladas; montados no local com a assistência de plantas e equipamentos de posicionamento digitais e geralmente inseparáveis de fluxos de informações através da rede mundial de computadores. (MITCHELL, Constructing complexity, 2008)

OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

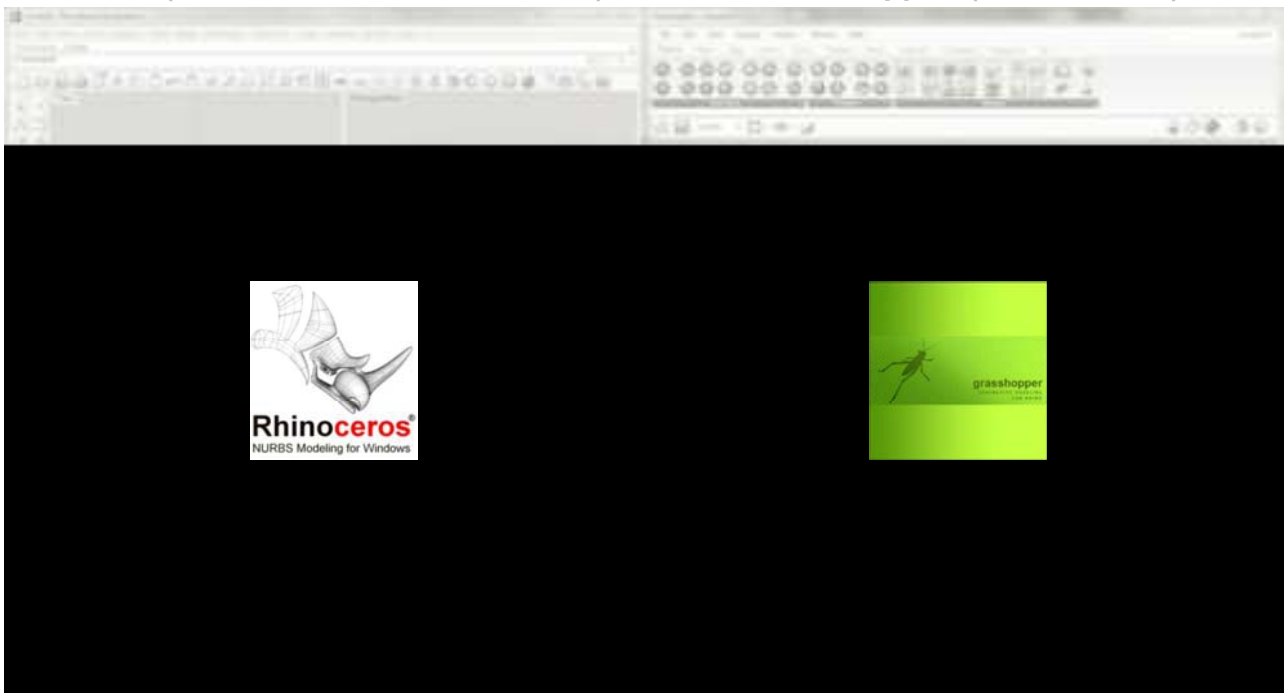
BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PROGRAMAS PARA O DESENHO PARAMÉTRICO

Rhino (Robert McNeel & Associates)

Grasshopper (David Rutten)



O Grasshopper é uma plataforma no Rhino que lida com algoritmos generativos e técnicas de modelagem associativa

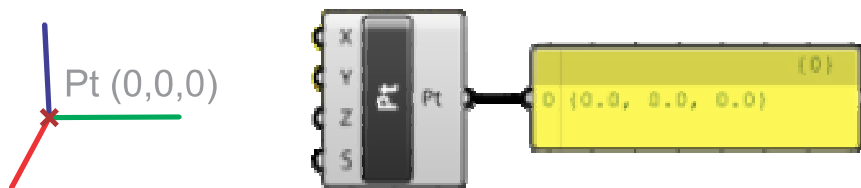
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



Parâmetros são elementos que representam dados, ou valores atribuídos a um objeto. Esses dados podem ser inseridos de maneira gráfica ou numérica.

Componente são objetos que fazem as ações como criar, mover, orientar, etc. Geralmente é necessário inserir dados relevantes para que eles funcionem.



Os parâmetros do componente «ponto» são as coordenadas «x», «y» e «z» desse ponto além do plano em que está inserido dentro do sistema de coordenadas (S).



Valores podem ser atribuídos e explorados dinamicamente conectando uma indicador de dados ao seu parâmetro equivalente.

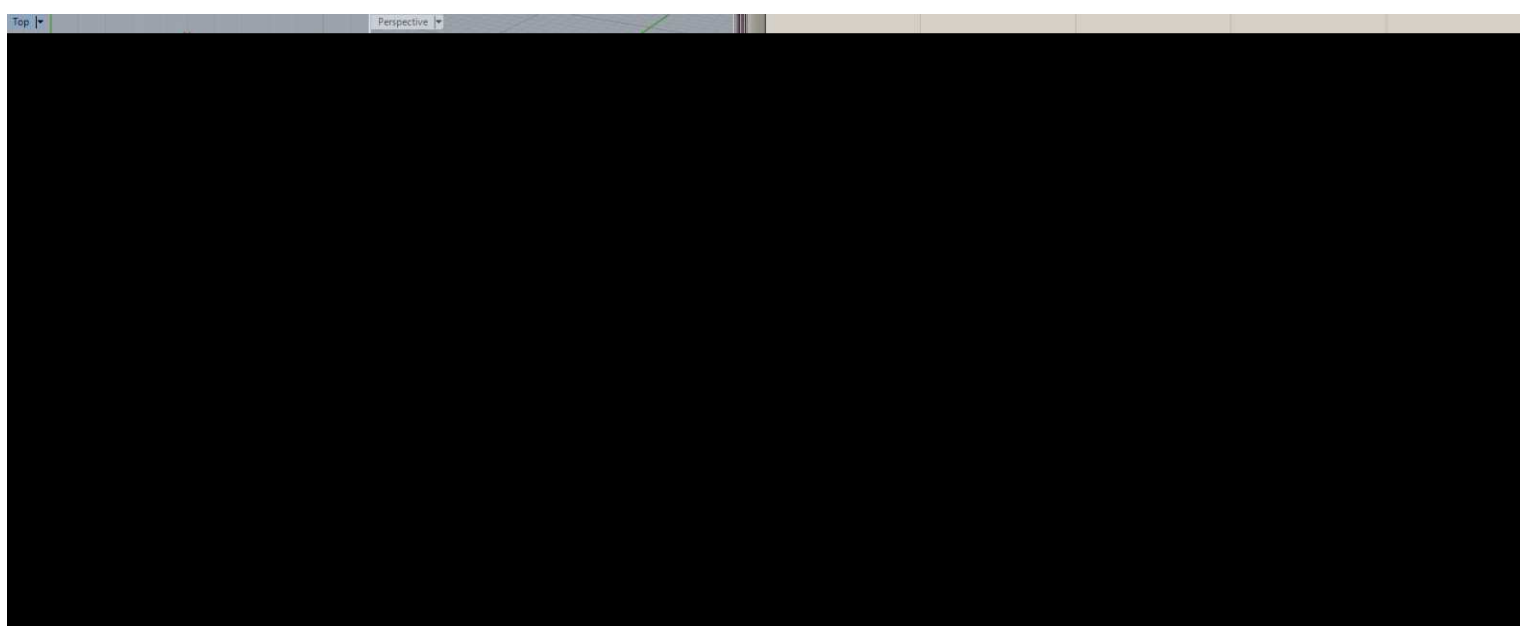
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PRÁTICA 1: INSERÇÃO E MANIPULAÇÃO DE DADOS NUMÉRICOS

- Construir um triângulo a partir da definição de seus vértices, criando pontos parametrizados e posicionando-os nas seguintes coordenadas «x» e «y»: A (0,0), B (5,10) e C(10,0)
- Gerar o triângulo representando suas arestas unindo os pontos através das linhas AB, BC e CA.



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

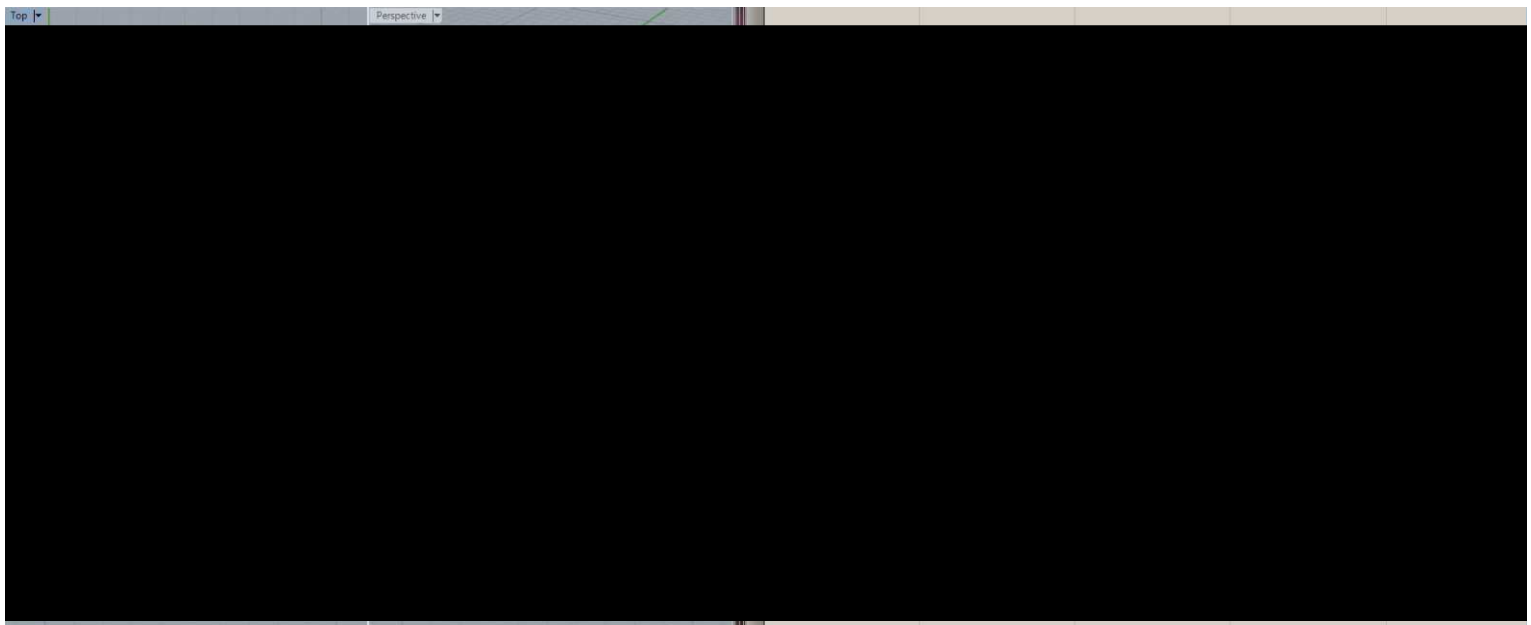
BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PRÁTICA 1: INSERÇÃO E MANIPULAÇÃO DE DADOS NUMÉRICOS

c) Gerar uma superfície plana definida pelas linhas que descrevem os limites do triângulo.

d) A partir da definição da superfície triangular que tem a posição de seus vértices como parâmetros variáveis, representar os seguintes triângulos de acordo com a posição dos pontos A, B e C. (pag. 15)

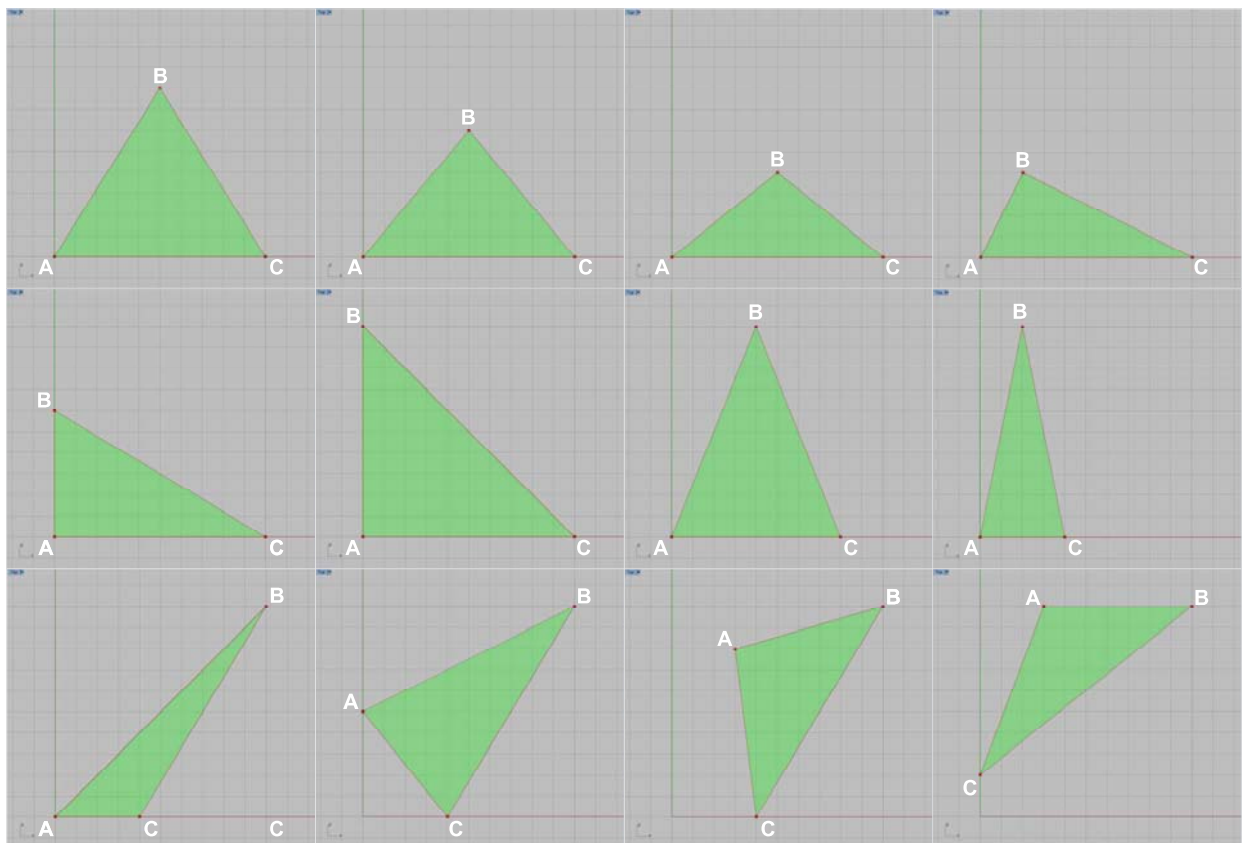


OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva

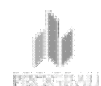


PRÁTICA 1: INSERÇÃO E MANIPULAÇÃO DE DADOS NUMÉRICOS



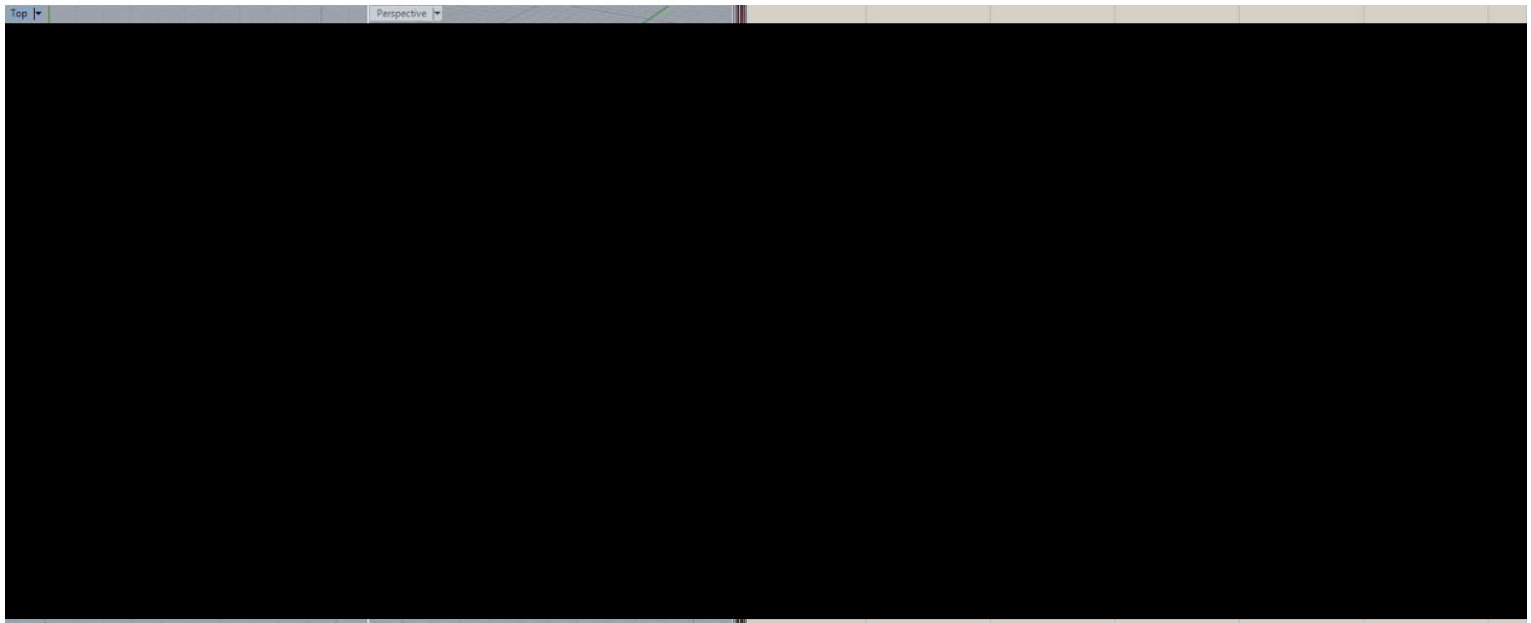
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



SÓLIDO POR EXTRUSÃO

Tendo-se a superfície triangular realizar uma operação de extrusão com sua distância parametrizada no sentido da coordenada Z.



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

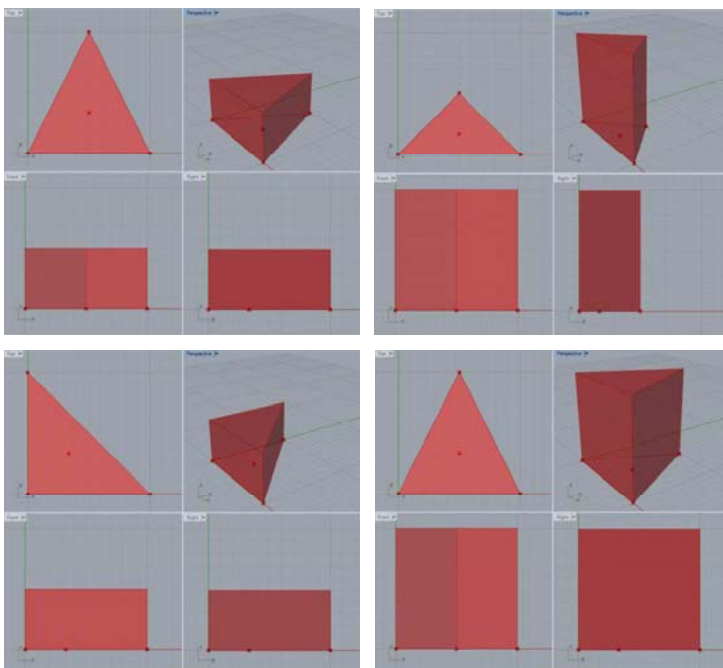
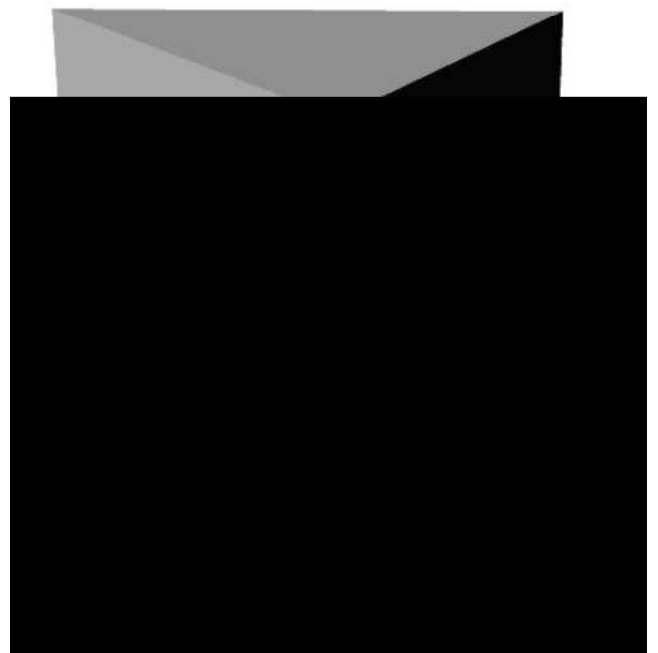
BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PRÁTICA 1: INSERÇÃO E MANIPULAÇÃO DE DADOS NUMÉRICOS

SÓLIDO POR EXTRUSÃO

Explorar variações a partir dos parâmetros como nos exemplos abaixo. Registrar os resultados.



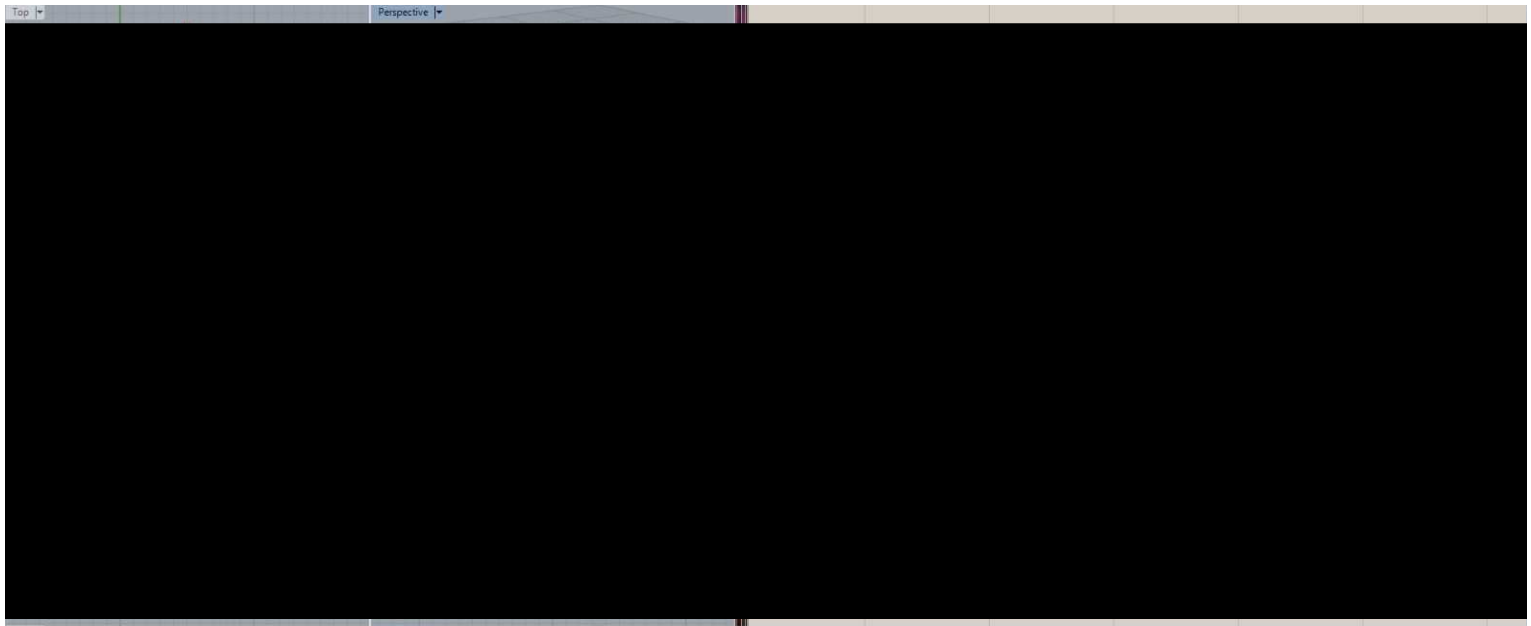
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



SUPERFÍCIE DE REVOLUÇÃO

A partir da união das linhas AB e BC representar uma superfície de revolução tendo a linha CA como eixo e parametrizando o ângulo descrito.



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

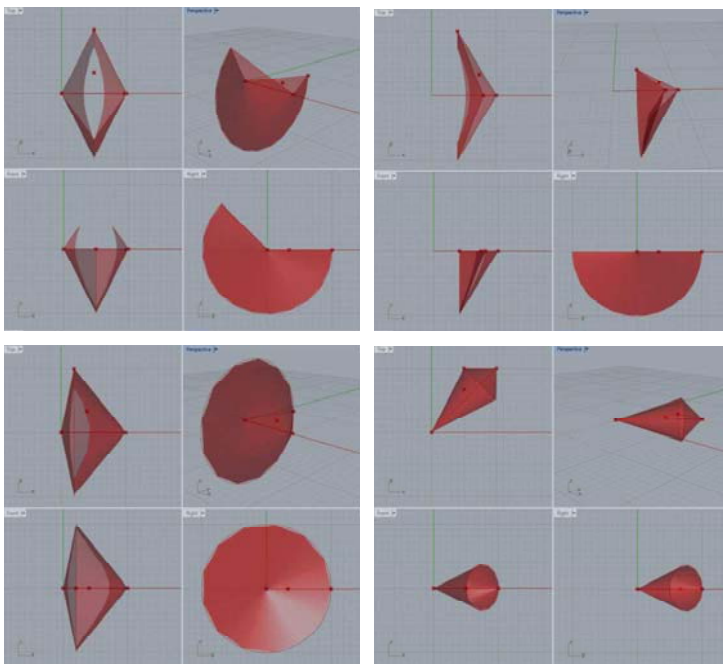
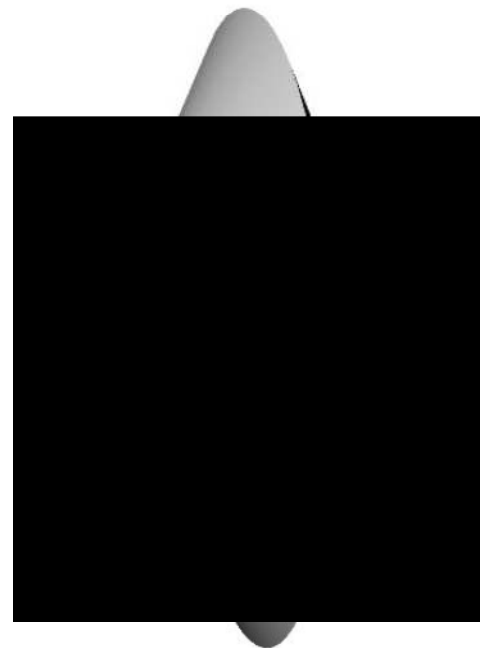
BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PRÁTICA 1: INSERÇÃO E MANIPULAÇÃO DE DADOS NUMÉRICOS

SUPERFÍCIE DE REVOLUÇÃO

Explorar variações a partir dos parâmetros como nos exemplos abaixo. Registrar os resultados.



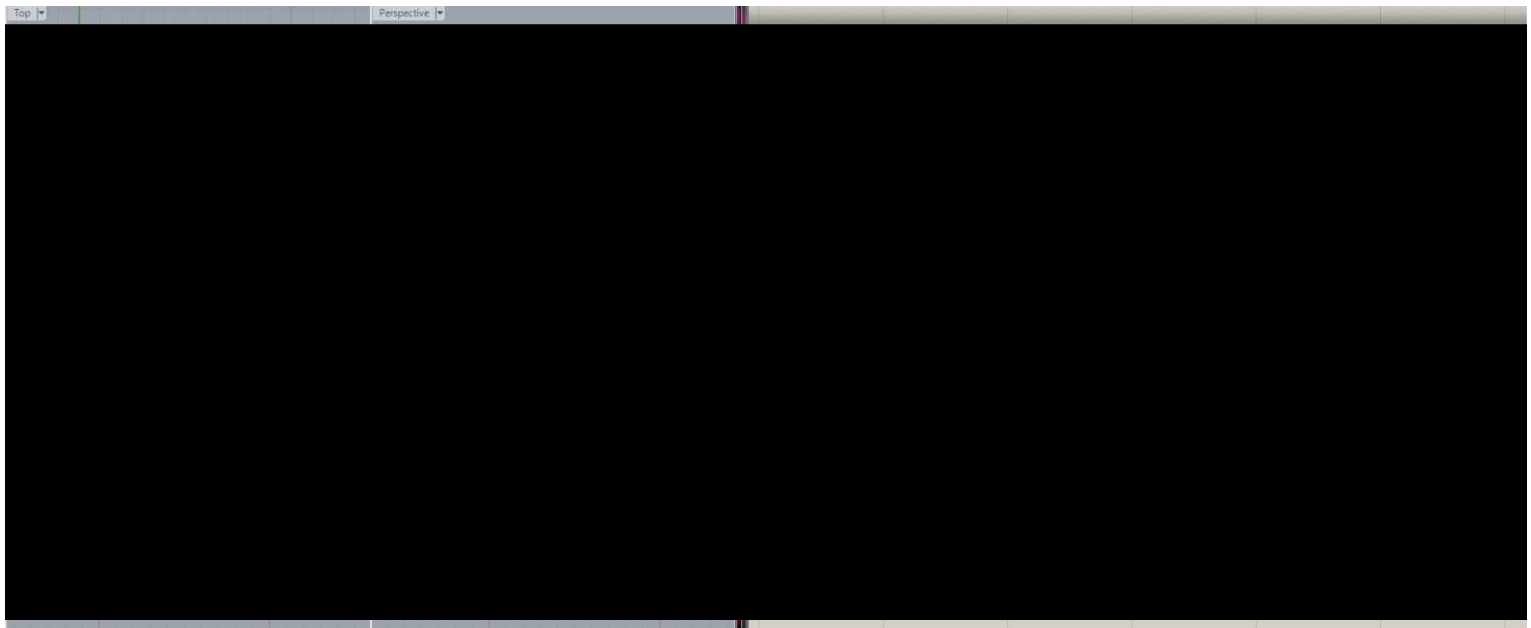
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



SUPERFÍCIE DE TRANSLAÇÃO

Tendo se o triângulo AB,BC,CA realizar uma cópia movendo-a em uma distância parametrizada e uma rotação tendo se o ângulo parametrizado ao final unir as a forma inicial e a resultante por translação.



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

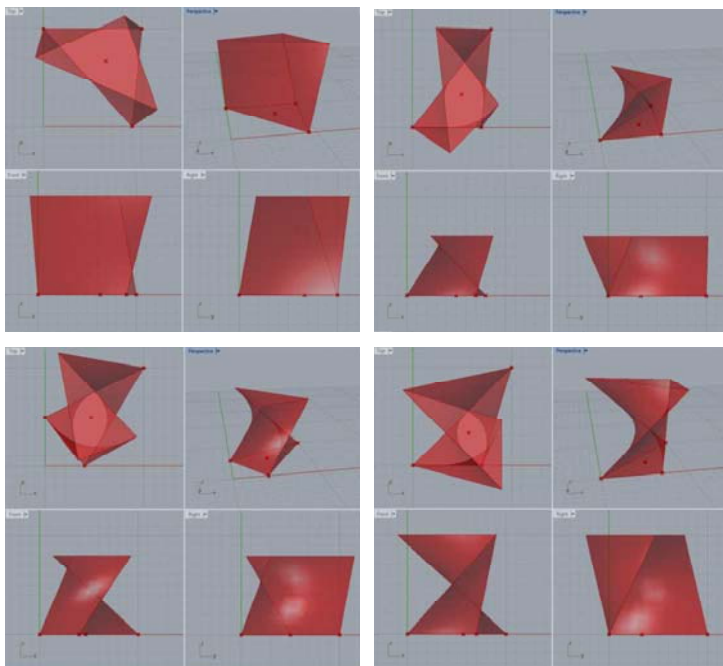
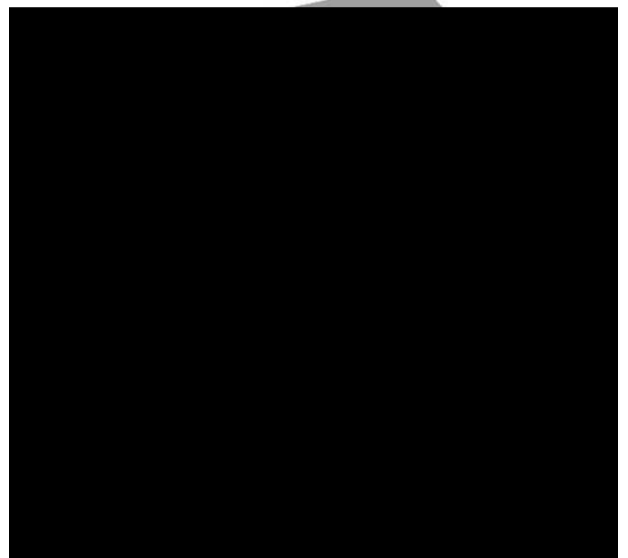
BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PRÁTICA 1: INSERÇÃO E MANIPULAÇÃO DE DADOS NUMÉRICOS

SUPERFÍCIE DE TRANSLAÇÃO

Explorar variações a partir dos parâmetros como nos exemplos abaixo. Registrar os resultados.



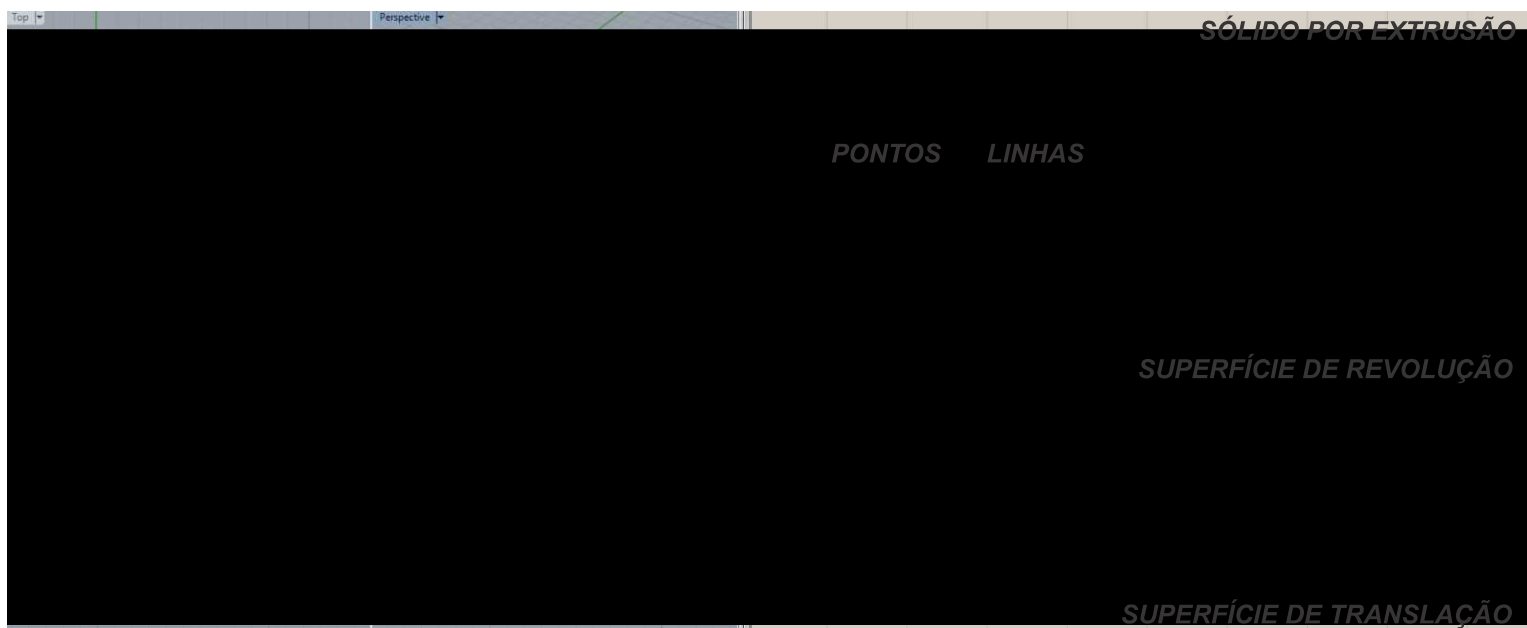
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PRÁTICA 1: INSERÇÃO E MANIPULAÇÃO DE DADOS NUMÉRICOS

Os mesmos pontos originais podem servir de dados simultaneamente para qualquer uma das formas geradas alternando sua visualização por seleção.



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



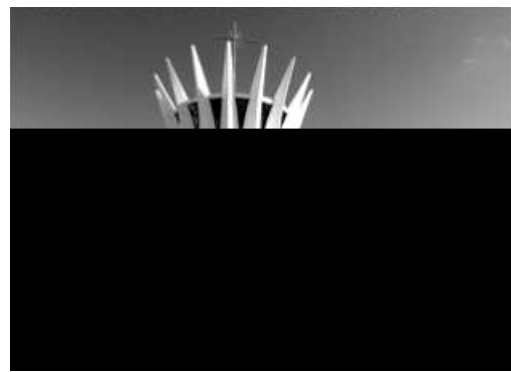
PRÁTICA 2: PARAMETRIZAÇÃO DE DADOS GRÁFICOS



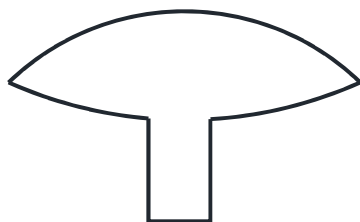
Museu Oscar Niemeyer - Curitiba - 2002



Museu de Arte Contemporânea - Niterói - 1996

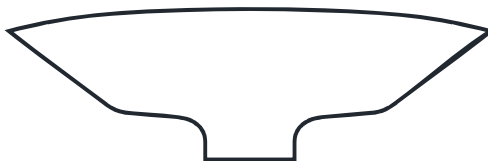


Catedral de Brasília - Brasília - 1970



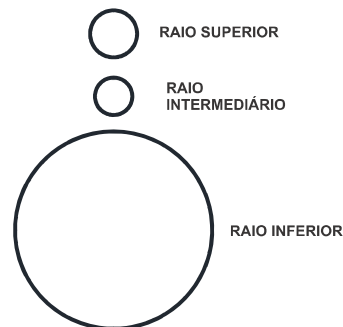
SEÇÃO TRANSVERSAL

SÓLIDO POR EXTRUSÃO



SEÇÃO NO EIXO

SUPERFÍCIE DE REVOLUÇÃO



SUPERFÍCIE DE TRANSLAÇÃO

OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



SÓLIDO DE EXTRUSÃO

Tendo-se a representação gráfica da seção transversal do prédio gerar uma superfície e realizar uma sua extrusão com a distância parametrizada na coordenada Y.



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

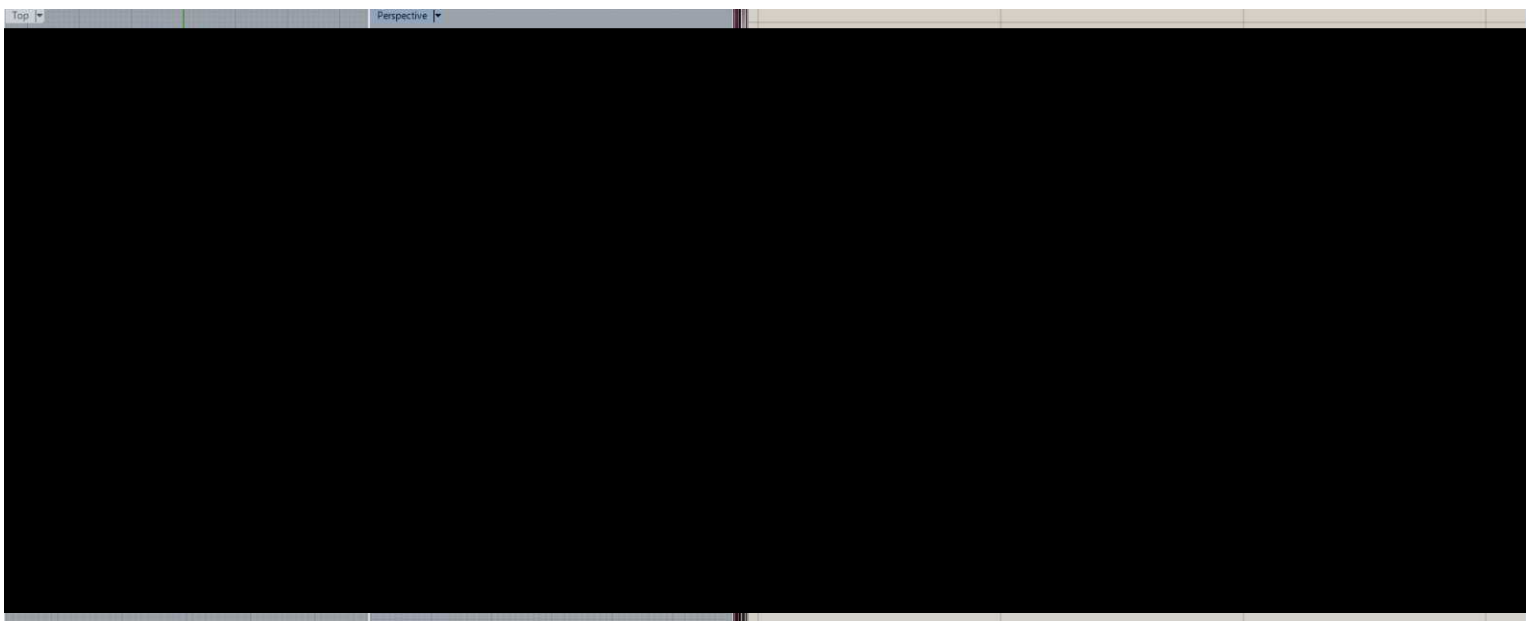
BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PRÁTICA 2: PARAMETRIZAÇÃO DE DADOS GRÁFICOS

SUPERFÍCIE DE REVOLUÇÃO

A partir da representação gráfica seção axial do edifício gerar uma superfície de revolução de maneira que o ângulo descrito por essa revolução esteja parametrizado.



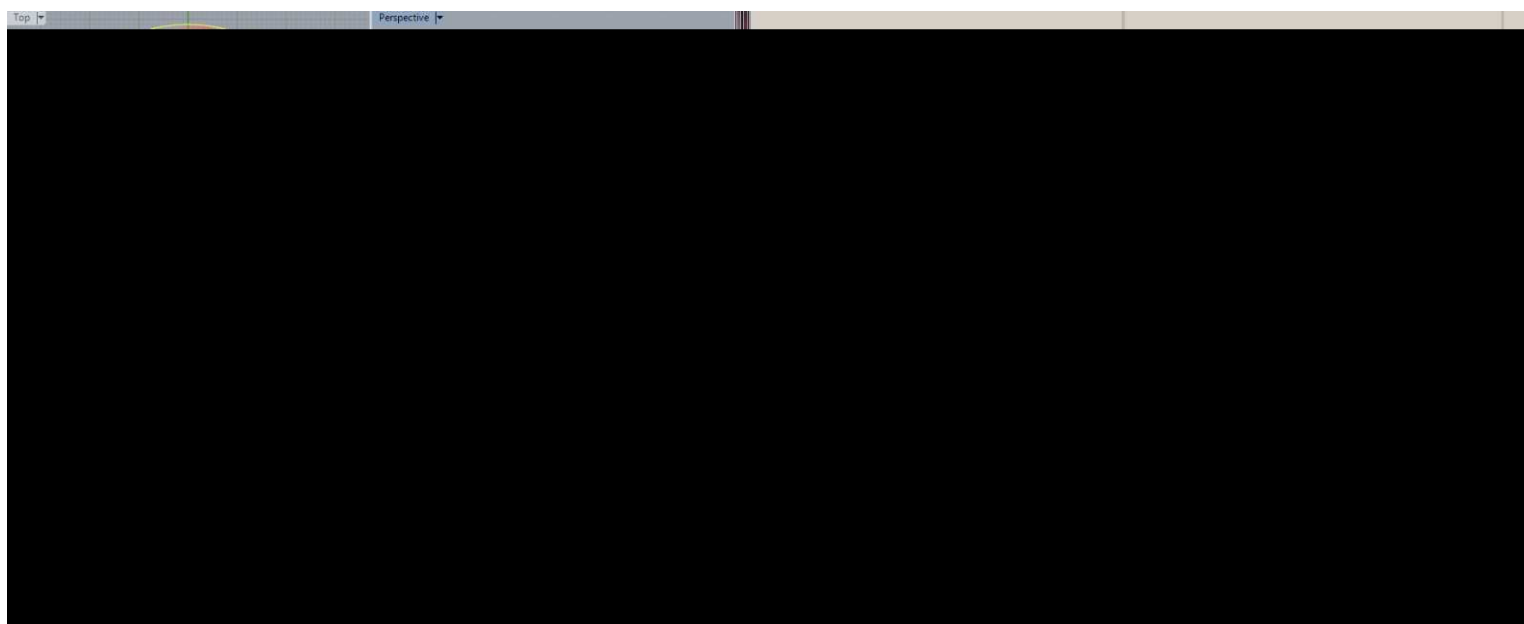
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



SUPERFÍCIE DE TRANSLAÇÃO

Tendo-se a representação gráfica das circunferências que definem a base, o topo e a seção intermediária horizontal do prédio criar uma superfície de translação.



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

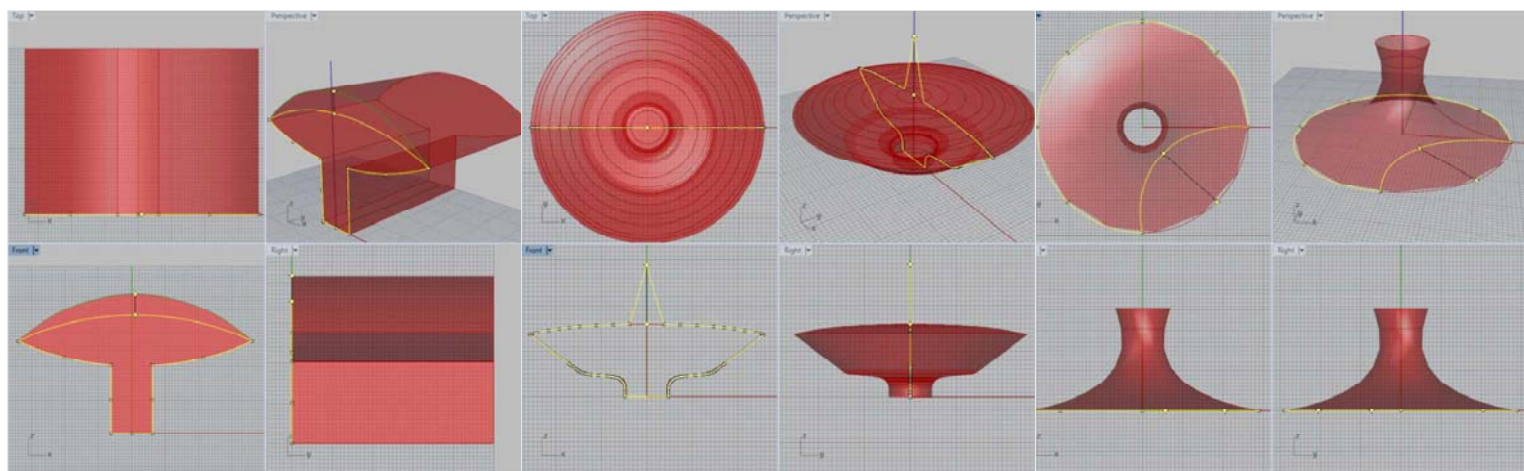
BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PRÁTICA 2: PARAMETRIZAÇÃO DE DADOS GRÁFICOS

EXPLORAÇÃO GRÁFICA DA FORMA PARAMETRIZADA

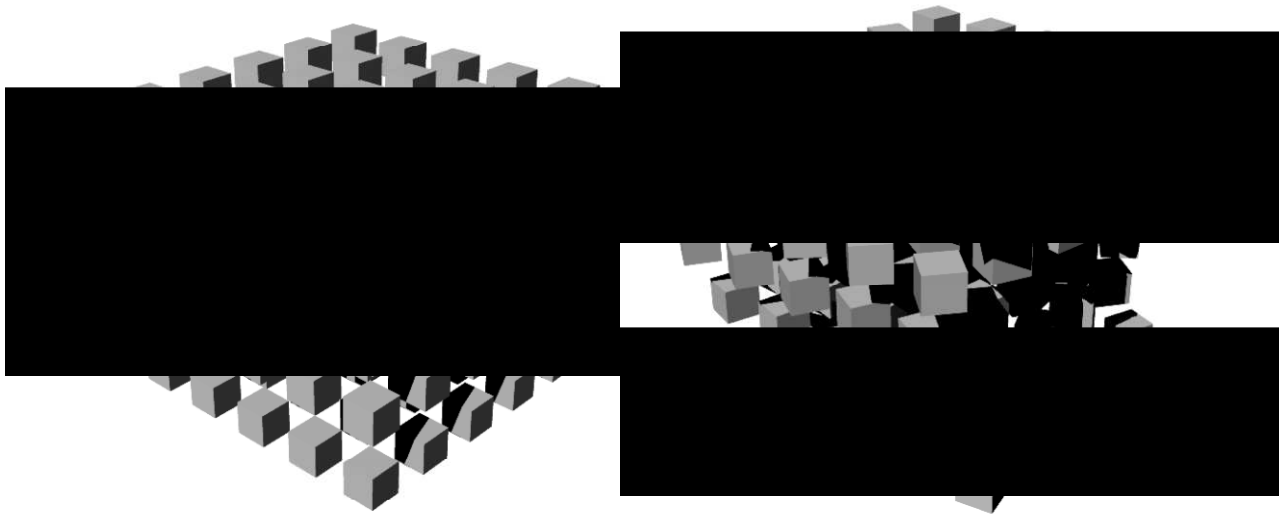
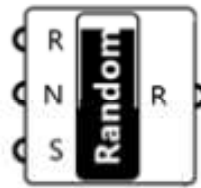
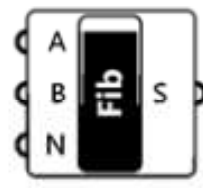
A partir dos pontos de controle que definem a forma da curva gráfica utilizada explorar livremente variações formais. Registrar os resultados.



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva





OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

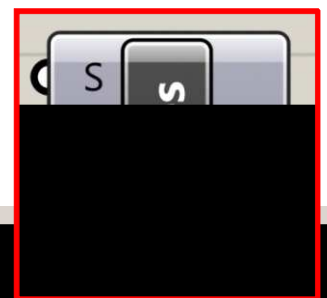
BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PRÁTICA 3: PADRÕES NUMÉRICOS

PARÂMETROS:

NÚMERO INICIAL DA SÉRIE
ESPAÇO ENTRE OS NÚMEROS DA SÉRIE
QUANTIDADE DE NÚMEROS NA SÉRIE



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva





OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

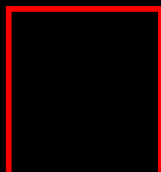
BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PRÁTICA 3: PADRÕES NUMÉRICOS

PARÂMETROS:

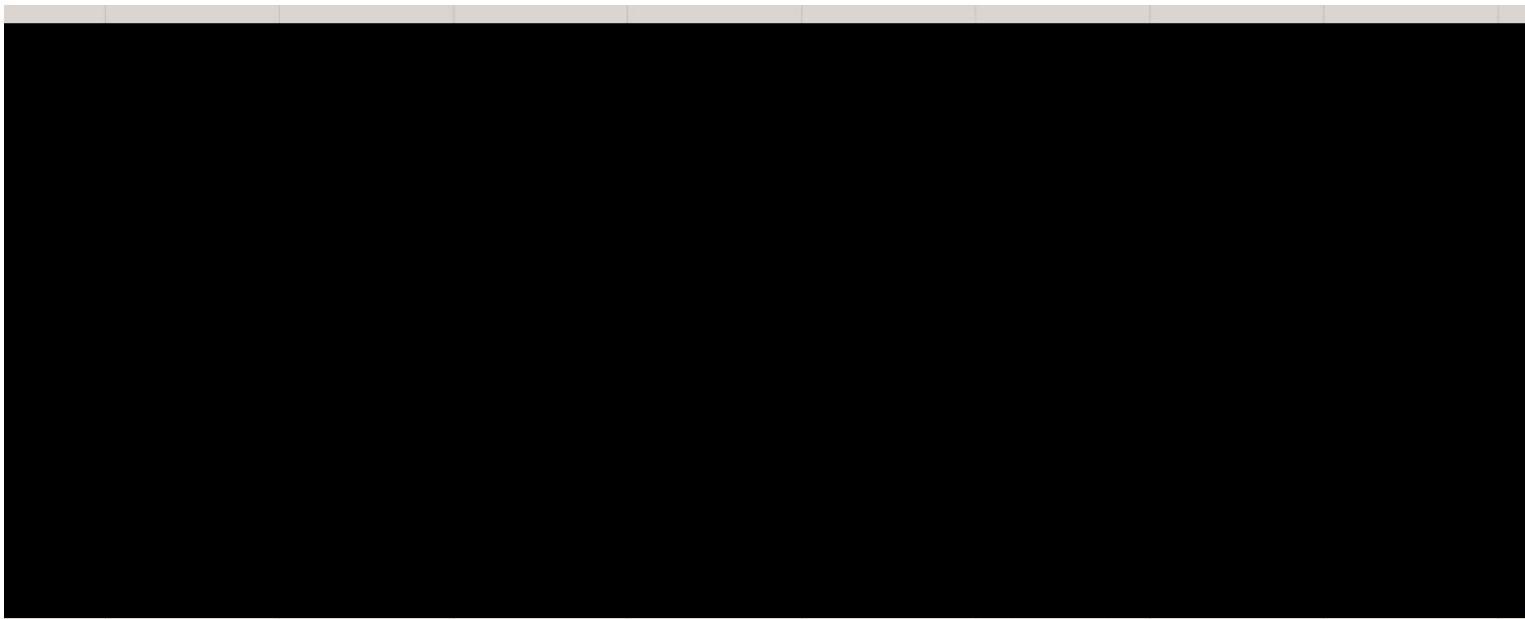
DOMÍNIO ENTRE DOIS EXTREMOS NUMÉRICOS
NÚMERO DE VALORES
GERADOR DE PADRÕES RANDÔMICOS



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



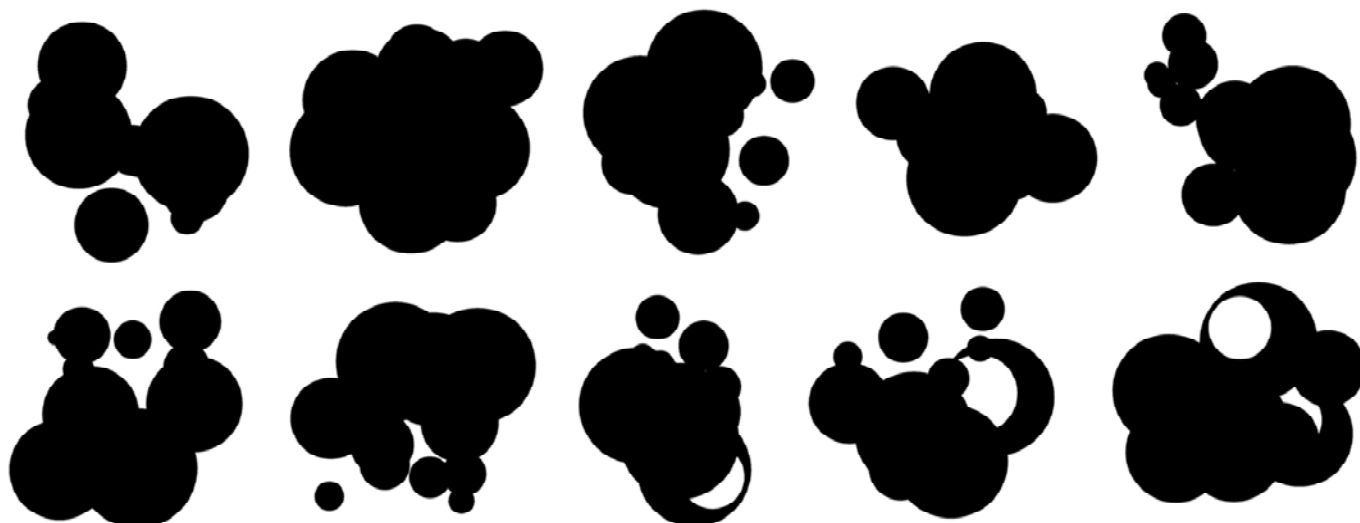


OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PRÁTICA 3: PADRÕES NUMÉRICOS



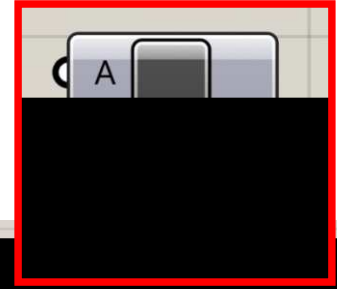
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PARÂMETROS:

VALOR INICIAL DA SEQUÊNCIA
SEGUNDO VALOR DA SEQUÊNCIA
NÚMERO DE VALORES

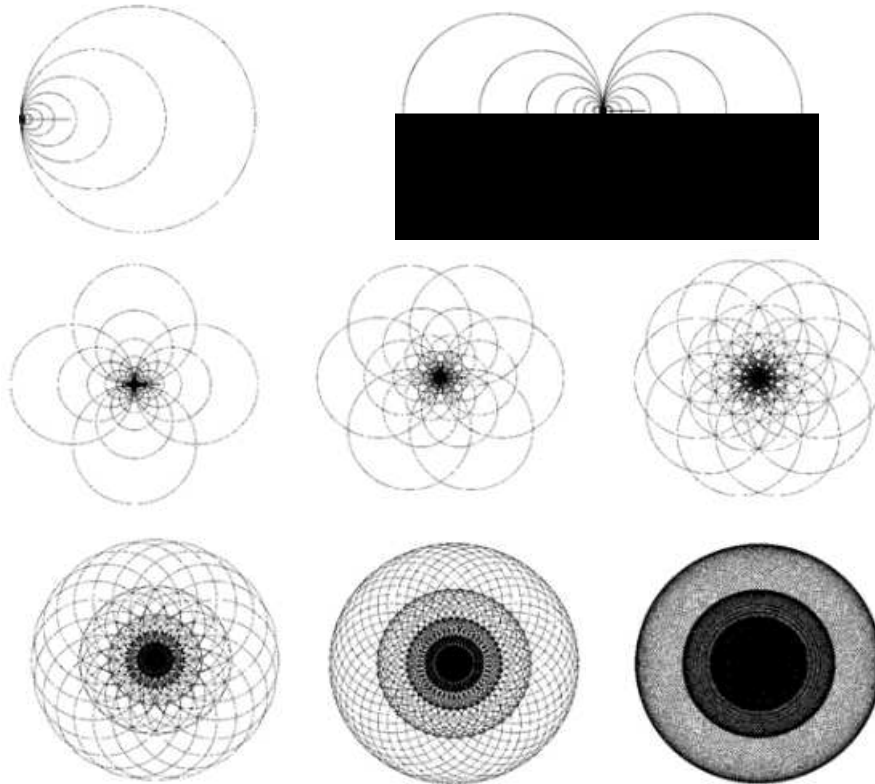
**OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO**

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva

**PRÁTICA 3: PADRÕES NUMÉRICOS****OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO**

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva





OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PROTOTIPAGEM RÁPIDA E FABRICAÇÃO DIGITAL

Prototipagem Rápida (PR)

Por ser uma tecnologia relativamente nova e em vista dos inúmeros processos de produção recentemente criados e utilizados, existem diferentes definições para o termo

Prototipagem Rápida. Algumas descrevem a PR como incluindo unicamente os processos que se utilizam da sobreposição de camadas de qualquer material visando a formação de um protótipo físico; outras não estabelecem parâmetros e a definem pela utilização de equipamentos que confeccionam protótipos sem intervenção humana.

Fabricação Digital (FD)

A fabricação digital (Digital Fabrication) refere-se às tecnologias de controle numérico (CNC) sugerindo a transferência de dados de um programa de modelagem 3D para uma máquina CNC. Isso permite a produção de modelos em escala real de componentes construtivos diretamente de modelos digitais 3D.

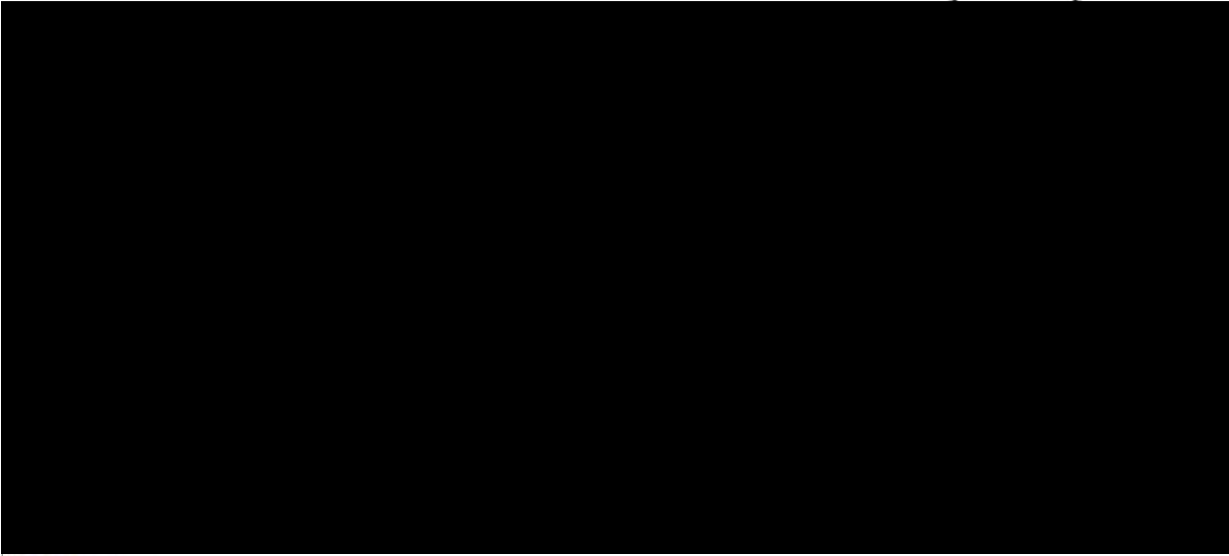
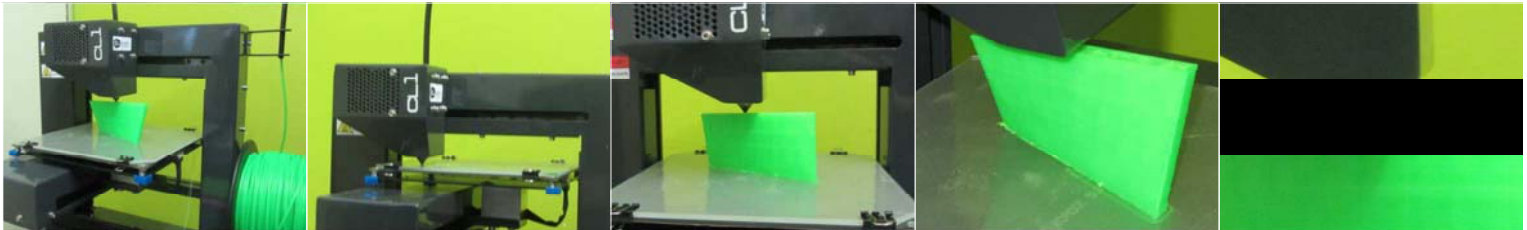
(PUPPO e CELANI, 2008)

OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



IMPRESSORA 3D



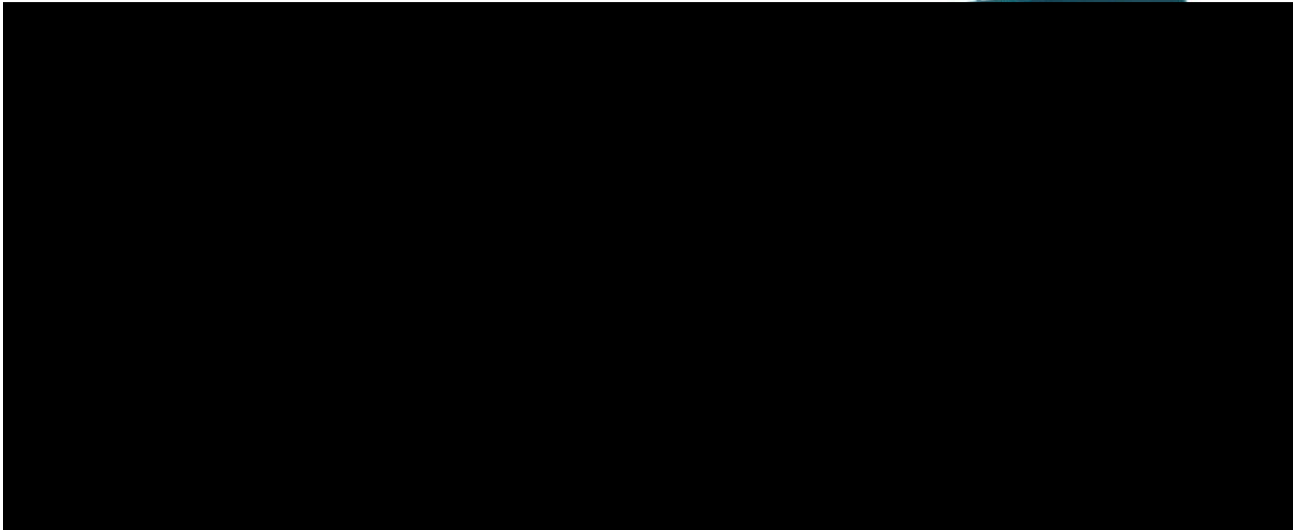
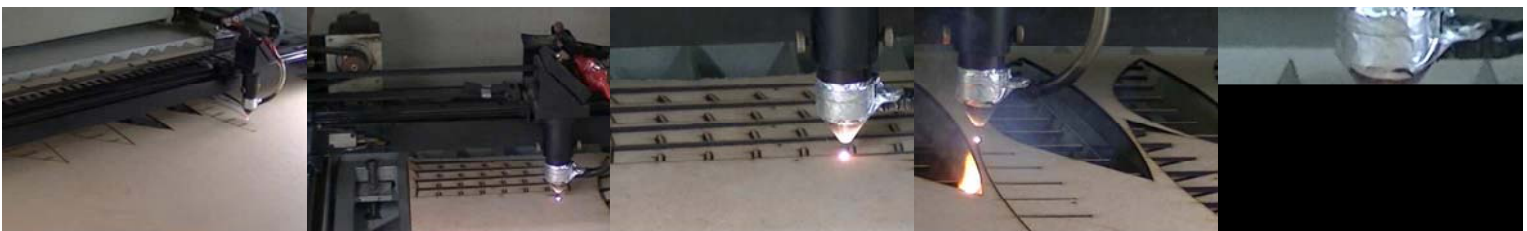
OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



PRÁTICA 1: INSERINDO DADOS NUMÉRICOS

CORTADORA A LASER



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



EXEMPLOS NA ARQUITETURA: THE GREAT COURT, BRITISH MUSEUM - LONDRES, 2000 - FOSTER & PARTNERS

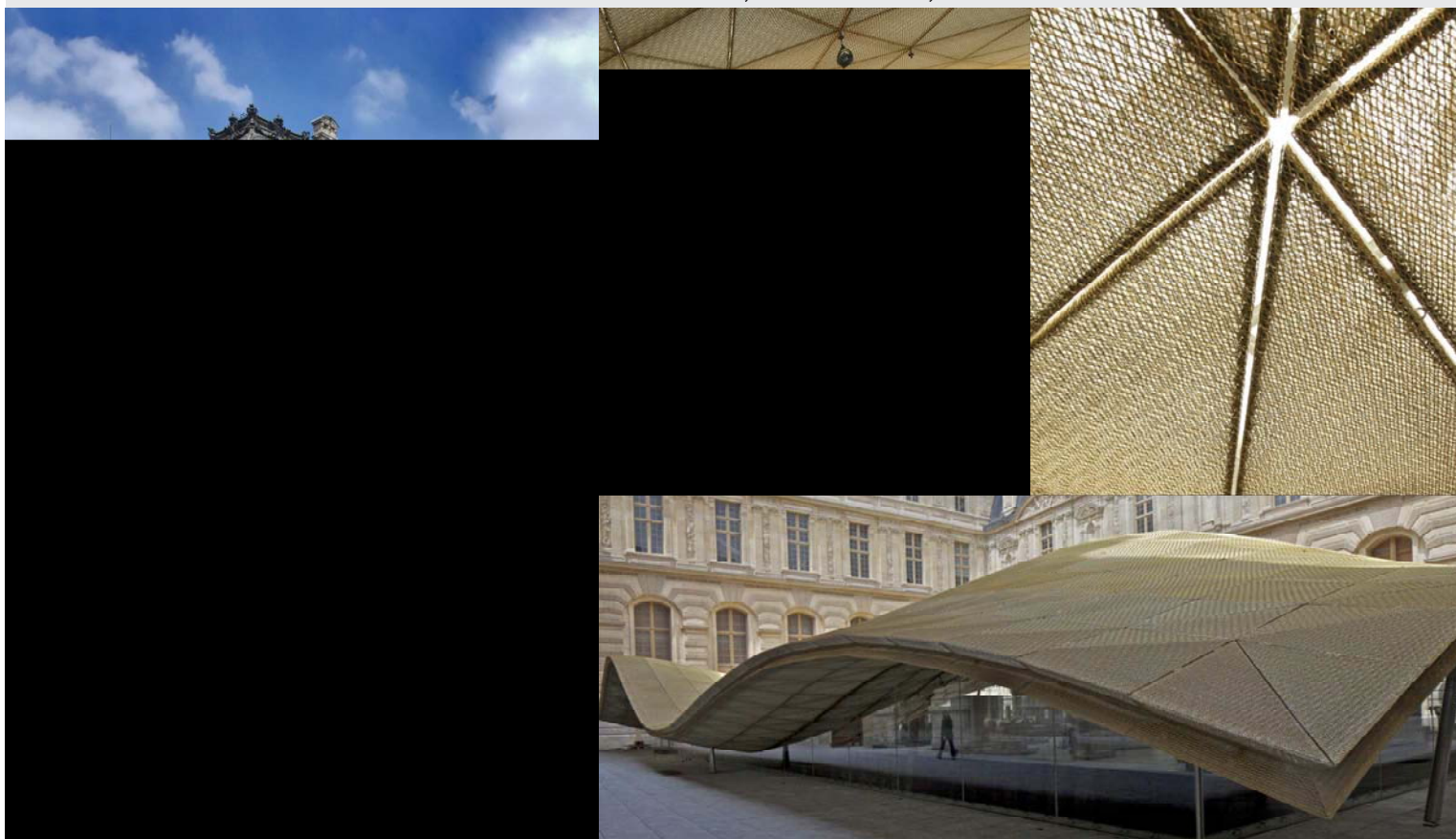


OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



EXEMPLOS NA ARQUITETURA: DEPARTMENT OF ISLAMIC ART, LOUVRE - PARIS, 2012 - MARIO BELLINI E RUDDI RICCIOTTI

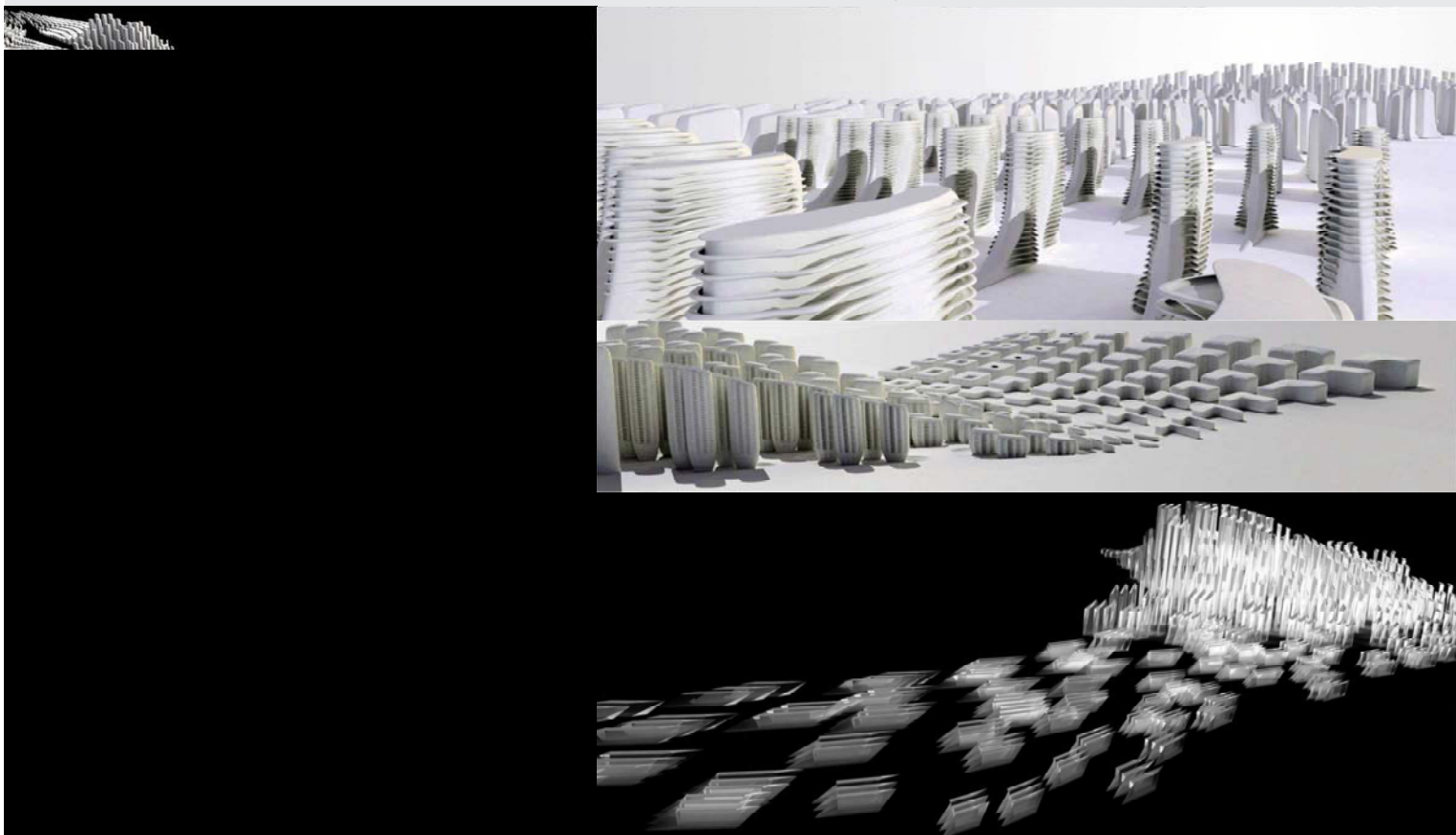


OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



EXEMPLOS NO URBANISMO: THE THAMES GATEWAY - LONDRES, 2007 - ZAHA HADID ARCHITECTS

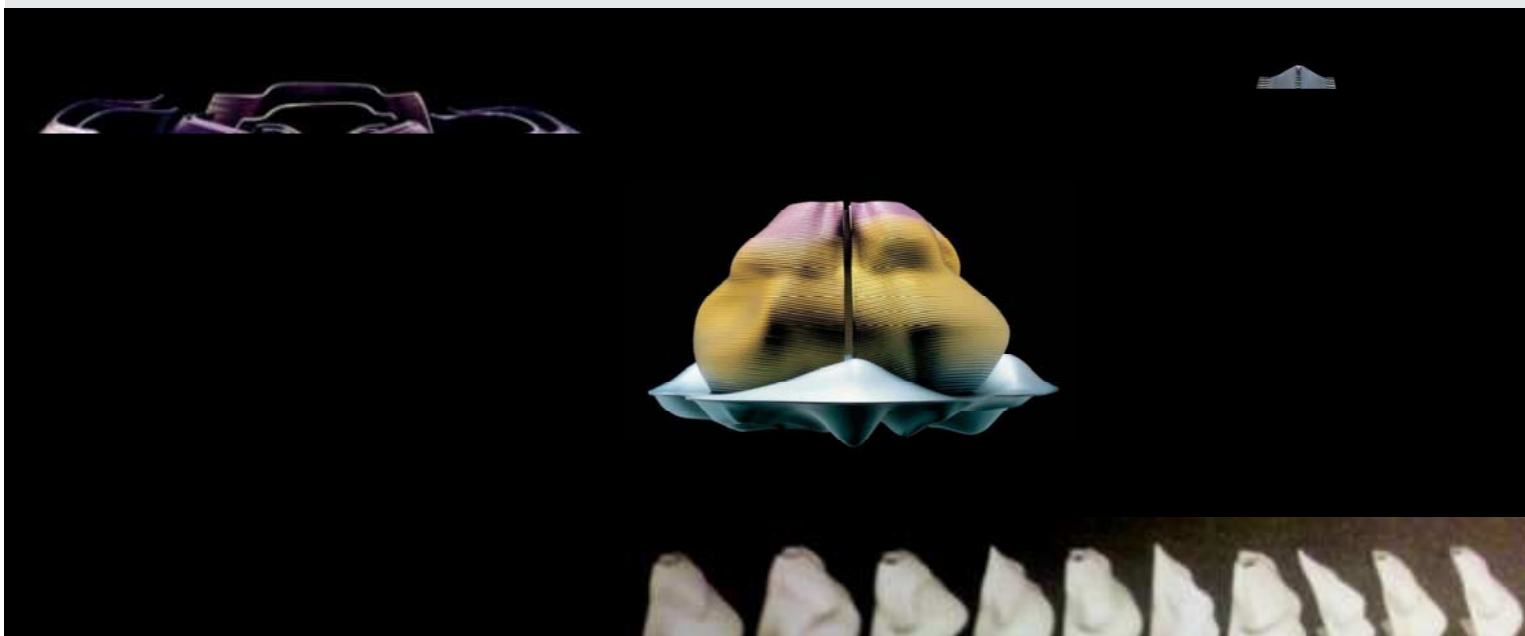


OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



EXEMPLOS DESIGN DE PRODUTOS: CONJUNTO DE CHÁ E CAFÉ ALESSI - GREG LYNN



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



EXEMPLOS NAS ARTES PLÁSTICAS: RULES OF SIX - ARANDA/LASCH

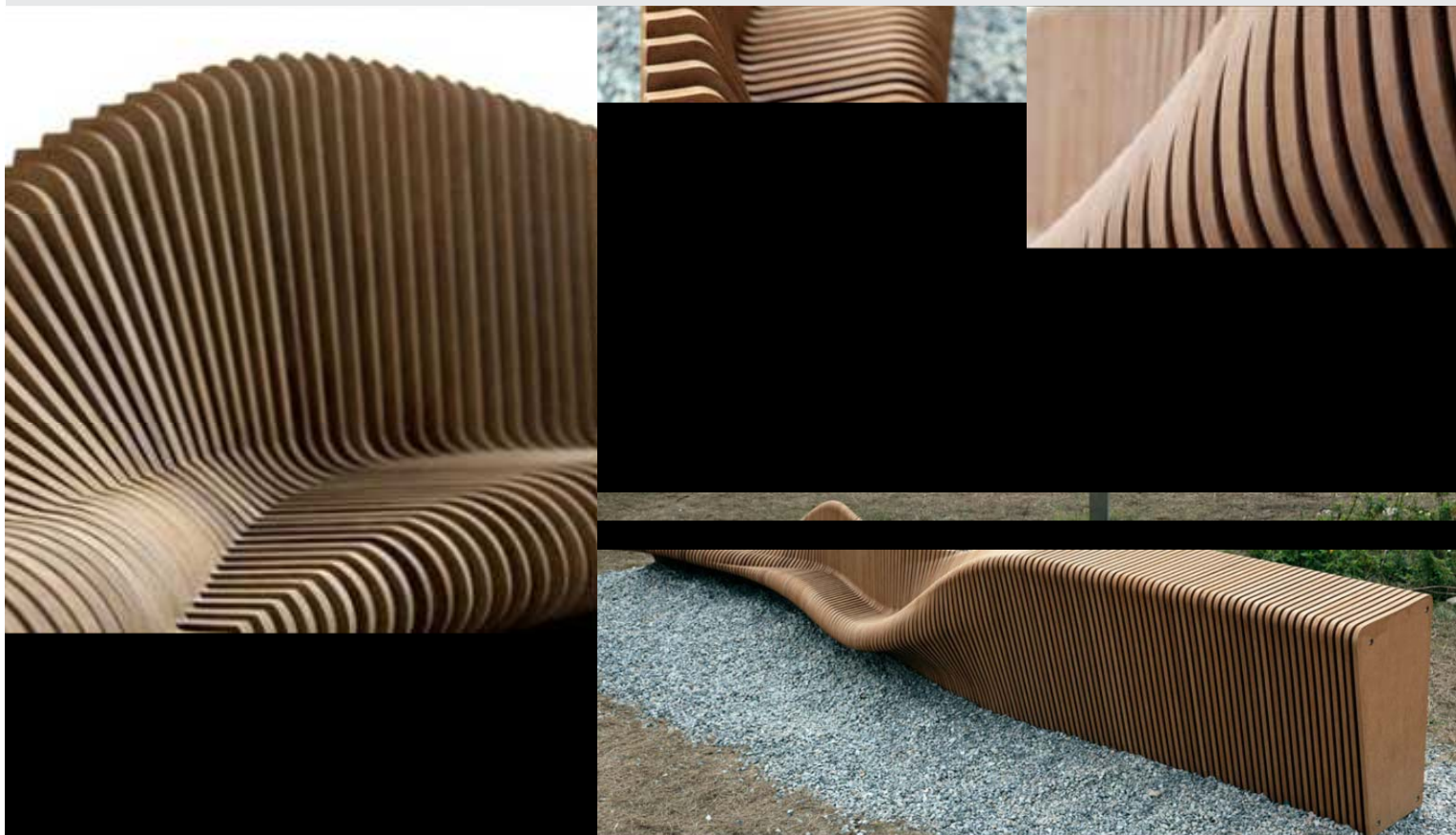


OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



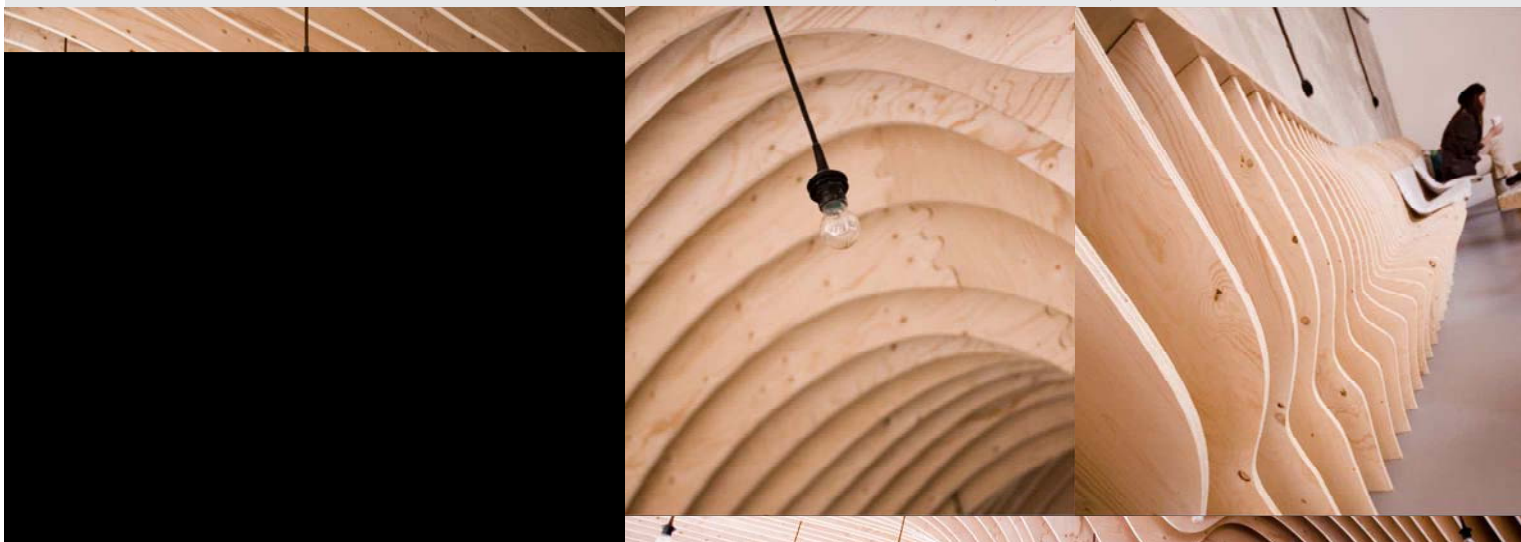
EXEMPLOS NO DESIGN DE MÓVEIS: NEW URBAN FURNITURE - ROCKER LANGE ARCHITECTS



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



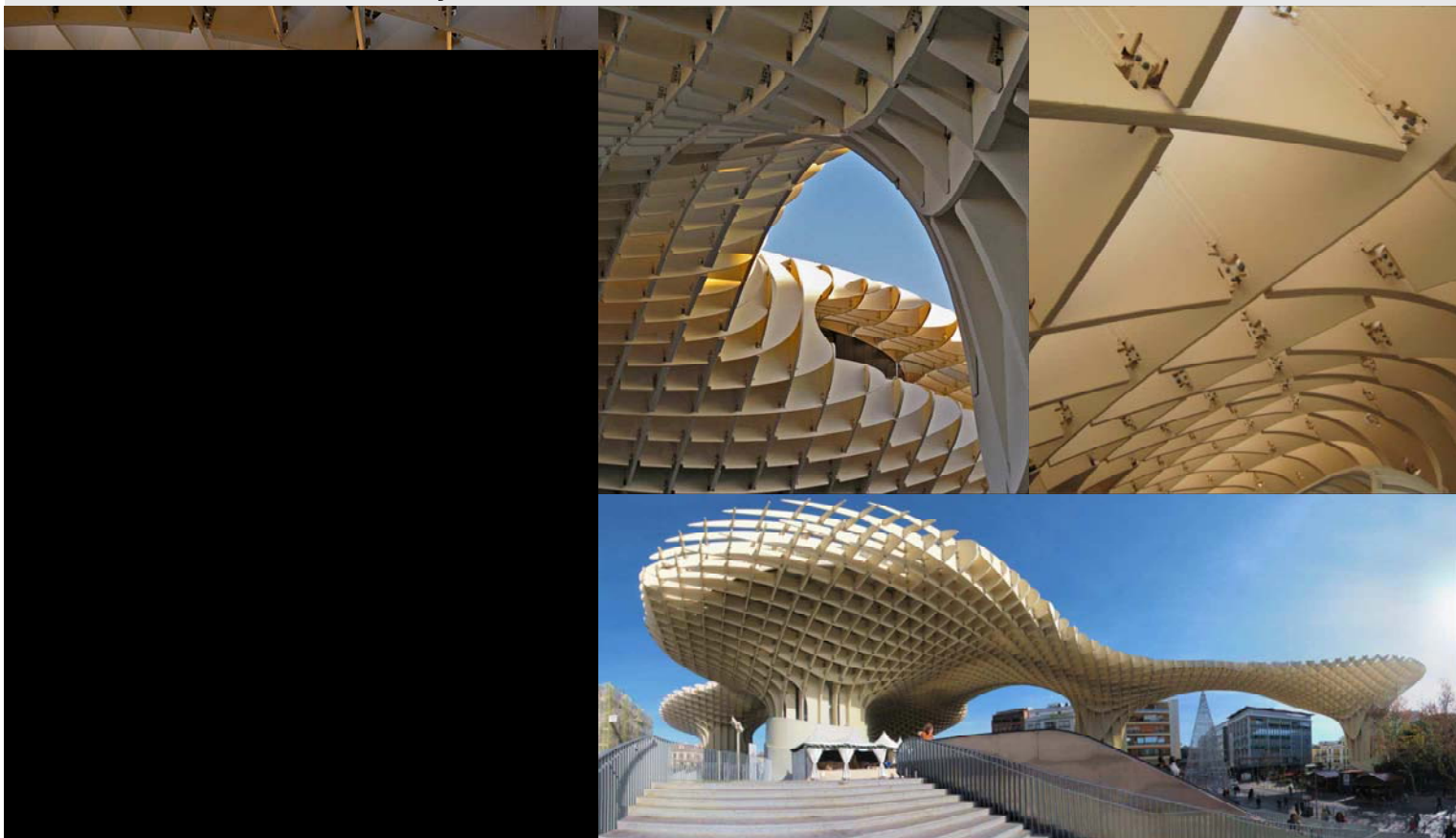


OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



EXEMPLOS NO ESPAÇO URBANO: METROPOL PARASOL SEVILHA, 2011- J. MAYER H. ARCHITECTS



OFICINA DE INTRODUÇÃO AO DESENHO PARAMÉTRICO

BROD, Gustavo Alcantara. Desenho paramétrico em estágios iniciais de formação em arquitetura: questões metodológicas, conceituais e tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
Orientadora Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva



ANEXOS

ANEXO 1

QUESTIONÁRIOS – ATIVIDADE 01 - A

AVULSO DA ATIVIDADE

2. Semestre que está cursando. 2

6. O que acha deste tipo de abordagem ao processo criativo?

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

2. Semestre que está cursando: 2^o

4. Devido ao nível de conhecimento dos programas que
é exigido.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

Nao

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

ANALISI DI RISCHIO

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE

3. Já conhecia o programa Rhinoceros? Se a resposta for sim como conheceu o programa?

[REDACTED]

AValiação da Atividade

[REDACTED]

[REDACTED]

7. O que acha deste tipo de abordagem ao processo criativo em arquitetura?

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

AVALIÇÃO DA ATIVIDADE

[REDACTED]

N

[REDACTED]

[REDACTED]

5. Como você classificaria o exercício, de 1 a 5 em nível de dificuldade? Justifique sua resposta.

7. O que acha deste tipo de abordagem ao processo criativo em arquitetura?

AVALIÇÃO DA ATIVIDADE

Não

Comentarios

[REDACTED]

UNCLASSIFIED

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

AVALIÇÃO DA ATIVIDADE

[REDACTED]

AVALLIACÃO DA ATIVIDADE

[REDACTED]

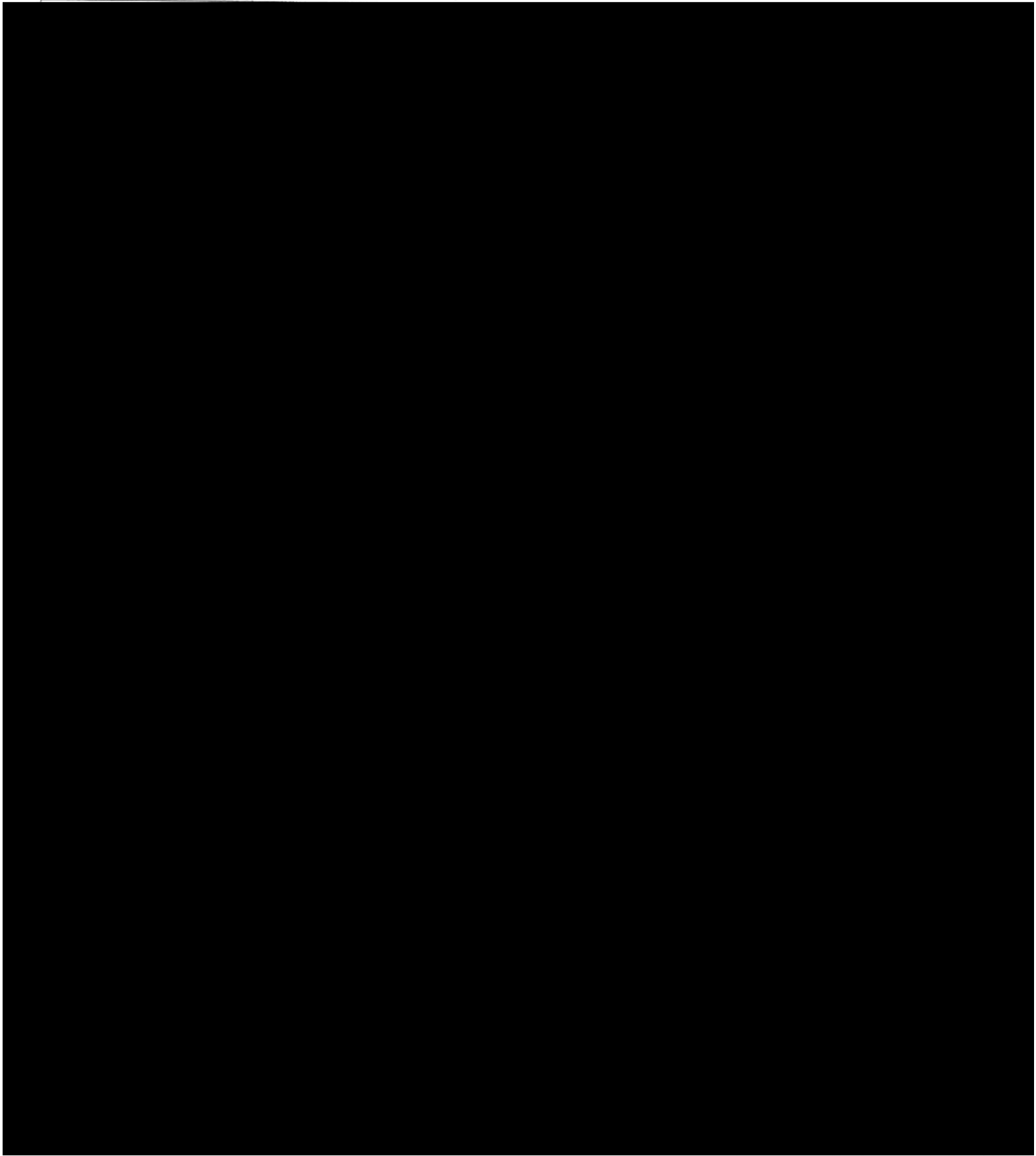
--	--

--	--

[REDACTED]



AVALLIÇÃO DA ATIVIDADE



6. O que acha deste tipo de abordagem ao processo criativo?

Acho válido, pela mesma ideia, não no mesmo contexto

[Redacted]

UNIVERSIDADE

[Redacted]

[Redacted]

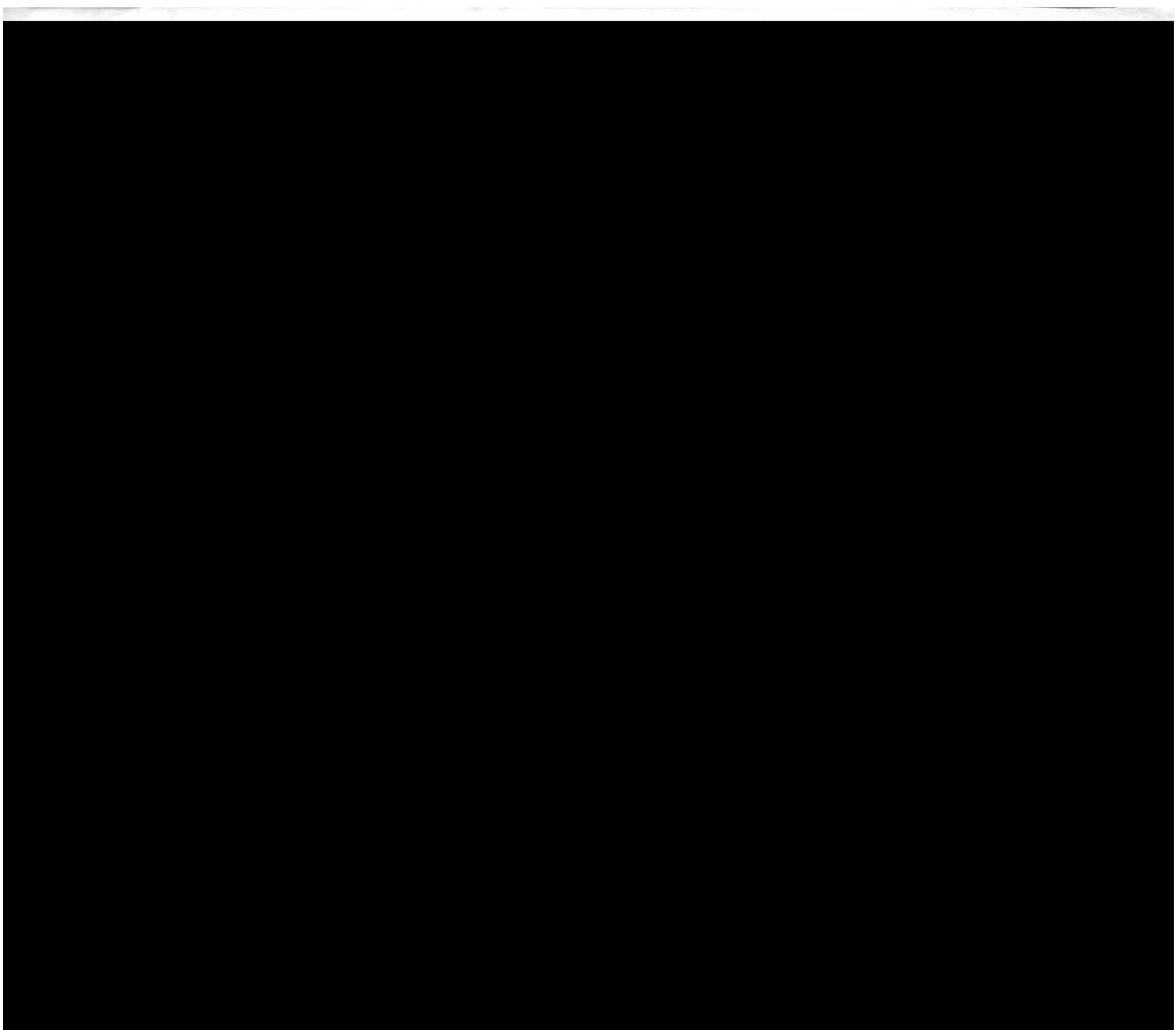
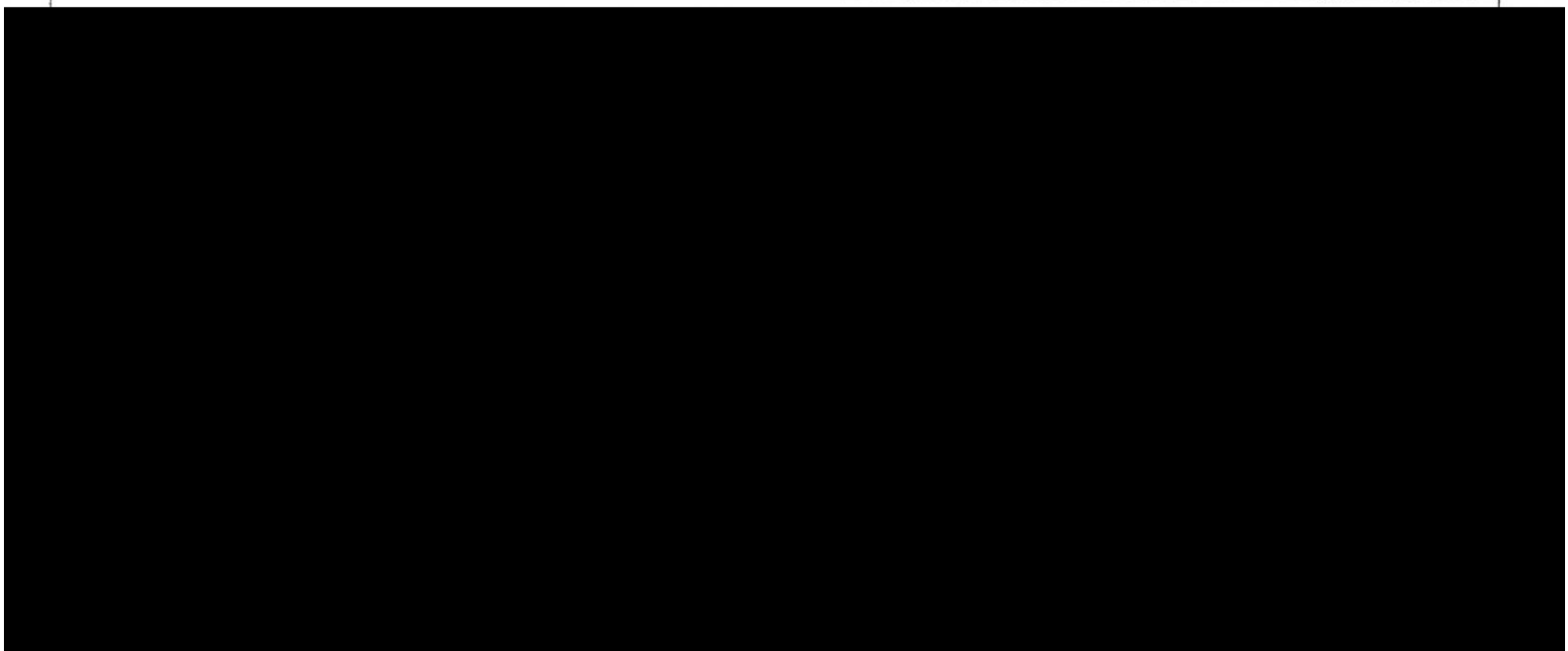
7. O que acha deste tipo de abordagem ao processo criativo em arquitetura?

[Redacted]

[Redacted]

AVALIÇÃO DA ATIVIDADE

AVALIÇÃO DA ATIVIDADE



ANEXO 2

QUESTIONÁRIOS – ATIVIDADE 01 - B

Nome: Clarissa Martins Neutzling (ALUNO 01)

Disciplina: Gráfica Digital 3

Data: 28/02/2013

1.1) Qual semestre do curso de arquitetura você está cursando? **Oitavo**

1.2) Quais programas computacionais para a representação gráfica você já utiliza? **AutoCAD, 3dmax e sketchup**

2.1) Como você classifica o grau de dificuldade das atividades como um todo? Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil). Justifique sua resposta. **3 – como todo programa computacional no início apresenta um grande nível de dificuldade (pelo fato de não ser conhecido) mas depois, com a familiarização, o programa torna-se mais fácil de ser usado**

2.2) Como você classifica o grau de dificuldade dos exercícios com base no seu desempenho? Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil). **2**

2.3) Como você classifica o grau de dificuldade de compreensão de cada um dos seguintes aspectos trabalhados durante a atividade: Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil).

(4) utilização da ferramenta (Grasshopper)

(4) aplicação dos conhecimentos geométricos

(2) compreensão dos princípios da parametrização

(2) obtenção do resultado formal proposto e/ou desejado

3) Como você classifica o seu nível de satisfação em relação as habilidades e conhecimentos desenvolvidos durante a atividade? Dê um valor de 1 (pouco satisfatório) a 5 (muito satisfatório). Justifique sua resposta.

5 – Muito satisfeita pois com as habilidades adquiridas fica bem mais fácil entender as formas geométricas.

4) Como você classifica o seu nível de interesse em aprender mais sobre métodos generativos para o projeto? Dê um valor de 1 (pouco interesse) a 5 (muito interesse). **5 – muito interessada, pois cada método generativo ajuda a entender melhor as formas.**

5) Quais os campos de conhecimento você considera mais importantes para a compreensão e utilização de uma abordagem paramétrica ao projeto de arquitetura? Escolha três alternativas.

matemática – física – linguagem de programação – geometria – teoria de projeto – estética – propriedade dos materiais – representação gráfica digital – prototipagem rápida – estrutura – teorias generativas – outra

Linguagem de programação – geometria – representação gráfica digital _____

6.1) Você acha que o uso de sistemas generativos (desenho paramétrico) contribuem para o processo criativo em arquitetura? Justifique sua resposta. **Com certeza contribui, ajuda a entender onde sai cada ponto ou linha**

6.2) Você considera o processo de desenho paramétrico um meio eficaz para a produção de soluções variadas para os problemas de projeto em arquitetura? Justifique sua resposta. **Com certeza, O desenho paramétrico ajuda a solucionar os problemas de formas que queremos resolver**

6.3) Você acha que o desenho por meio de um sistema paramétrico auxilia na compreensão e reprodução do elemento geométrico? Justifique sua resposta.

Sim, Com o desenho paramétrico sabe-se como a forma geométrica é criada

6.4) Você acha que atividade de desenho paramétrico contribui para a compreensão dos princípios de métodos generativos para o projeto? Justifique sua resposta. **Sim, com os desenhos paramétrico se compreende melhor os métodos generativos de projeto**

Nome: Gabrielle Toledo Berthier (ALUNO 02)

Disciplina: GGD3

Data: 28/02/2013

1.1) Qual semestre do curso de arquitetura você está cursando? **Segundo semestre.**

1.2) Quais programas computacionais para a representação gráfica você já utiliza? **Autocad e SketchUp**

2.1) Como você classifica o grau de dificuldade das atividades como um todo? Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil). Justifique sua resposta. **3. As apresentações em power point ajudaram na construção das obras, mas o acompanhamento em aula foi importante.**

2.2) Como você classifica o grau de dificuldade dos exercícios com base no seu desempenho? Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil). **4**

2.3) Como você classifica o grau de dificuldade de compreensão de cada um dos seguintes aspectos trabalhados durante a atividade: Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil).

- (**3**) utilização da ferramenta (Grasshopper)
- (**2**) aplicação dos conhecimentos geométricos
- (**2**) compreensão dos princípios da parametrização
- (**3**) obtenção do resultado formal proposto e/ou desejado

3) Como você classifica o seu nível de satisfação em relação as habilidades e conhecimentos desenvolvidos durante a atividade? Dê um valor de 1 (pouco satisfatório) a 5 (muito satisfatório). Justifique sua resposta. **4.**

4) Como você classifica o seu nível de interesse em aprender mais sobre métodos generativos para o projeto? Dê um valor de 1 (pouco interesse) a 5 (muito interesse). **4.**

5) Quais os campos de conhecimento você considera mais importantes para a compreensão e utilização de uma abordagem paramétrica ao projeto de arquitetura? Escolha três alternativas.

geometria–representação gráfica digital – prototipagem rápida

6.1) Você acha que o uso de sistemas generativos (desenho paramétrico) contribuem para o processo criativo em arquitetura? Justifique sua resposta. **Sim.**

6.2) Você considera o processo de desenho paramétrico um meio eficaz para a produção de soluções variadas para os problemas de projeto em arquitetura? Justifique sua resposta. **Sim**

6.3) Você acha que o desenho por meio de um sistema paramétrico auxilia na compreensão e reprodução do elemento geométrico? Justifique sua resposta. **Sim.**

6.4) Você acha que atividade de desenho paramétrico contribui para a compreensão dos princípios de métodos generativos para o projeto? Justifique sua resposta. **Sim.**

Nome: **Gabrielle Yuri Tamazato Santos (ALUNO 03)**

Disciplina: **Geometria Gráfica e Digital III**

Data: **28/02/13**

1.1) Qual semestre do curso de arquitetura você está cursando? **2º semestre**

1.2) Quais programas computacionais para a representação gráfica você já utiliza? **SketchUp**

2.1) Como você classifica o grau de dificuldade das atividades como um todo? Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil). Justifique sua resposta. **3, uma vez que a dificuldade é entender quais passos deve-se fazer para gerar o modelo.**

2.2) Como você classifica o grau de dificuldade dos exercícios com base no seu desempenho? Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil). **3**

2.3) Como você classifica o grau de dificuldade de compreensão de cada um dos seguintes aspectos trabalhados durante a atividade: Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil).

(1) utilização da ferramenta (Grasshopper)

(2) aplicação dos conhecimentos geométricos

(2) compreensão dos princípios da parametrização

(4) obtenção do resultado formal proposto e/ou desejado

3) Como você classifica o seu nível de satisfação em relação as habilidades e conhecimentos desenvolvidos durante a atividade? Dê um valor de 1 (pouco satisfatório) a 5 (muito satisfatório). Justifique sua resposta. **3, pois acredito que somente com a prática vou estar apta a fazer um desenho paramétrico sozinha.**

4) Como você classifica o seu nível de interesse em aprender mais sobre métodos generativos para o projeto? Dê um valor de 1 (pouco interesse) a 5 (muito interesse). **4**

5) Quais os campos de conhecimento você considera mais importantes para a compreensão e utilização de uma abordagem paramétrica ao projeto de arquitetura? Escolha três alternativas.

matemática – física – linguagem de programação – geometria – teoria de projeto – estética – propriedade dos materiais – representação gráfica digital – prototipagem rápida – estrutura – teorias generativas – outra
geometria- prototipagem rápida-estética

6.1) Você acha que o uso de sistemas generativos (desenho paramétrico) contribuem para o processo criativo em arquitetura? Justifique sua resposta. **Sim, pois as formas geométricas ficam mais compreensíveis a partir do momento que se conhece os parâmetros de geração da forma.**

6.2) Você considera o processo de desenho paramétrico um meio eficaz para a produção de soluções variadas para os problemas de projeto em arquitetura? Justifique sua resposta. **Sim. Com a variação dos parâmetros é possível ter uma maior visão das possibilidades de projetos de arquitetura.**

6.3) Você acha que o desenho por meio de um sistema paramétrico auxilia na compreensão e reprodução do elemento geométrico? Justifique sua resposta. **Sim pois ficam visíveis os elementos geométricos**

6.4) Você acha que atividade de desenho paramétrico contribui para a compreensão dos princípios de métodos generativos para o projeto? Justifique sua resposta. **Sim**

Nome: ISABELA BUBOLZ PRESTES (ALUNO 04)
Disciplina: GEOMETRIA GRÁFICA E DIGITAL III
Data: 28/ 02/2013

1.1) Qual semestre do curso de arquitetura você está cursando? **2º SEMESTRE.**

1.2) Quais programas computacionais para a representação gráfica você já utiliza? **SKETCHUP, AUTOCAD ARCHITECTURE, 3D MAX**

2.1) Como você classifica o grau de dificuldade das atividades como um todo? Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil). Justifique sua resposta. **1 Pois foi explicado passo a passo os comandos realizados.**

2.2) Como você classifica o grau de dificuldade dos exercícios com base no seu desempenho? Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil). **2 Pois foi o meu primeiro contato com o programa e desconhecia muitas das ferramentas.**

2.3) Como você classifica o grau de dificuldade de compreensão de cada um dos seguintes aspectos trabalhados durante a atividade: Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil).

(**2**) utilização da ferramenta (Grasshopper)

(**1**) aplicação dos conhecimentos geométricos

(**3**) compreensão dos princípios da parametrização

(**1**) obtenção do resultado formal proposto e/ou desejado

3) Como você classifica o seu nível de satisfação em relação as habilidades e conhecimentos desenvolvidos durante a atividade? Dê um valor de 1 (pouco satisfatório) a 5 (muito satisfatório). Justifique sua resposta. **5 Acredito ser muito importante trabalhar com novos programas e descobrir novas possibilidades de modelagem.**

4) Como você classifica o seu nível de interesse em aprender mais sobre métodos generativos para o projeto? Dê um valor de 1 (pouco interesse) a 5 (muito interesse). **5**

5) Quais os campos de conhecimento você considera mais importantes para a compreensão e utilização de uma abordagem paramétrica ao projeto de arquitetura? Escolha três alternativas.

matemática – física – linguagem de programação – geometria – teoria de projeto – estética – propriedade dos materiais – representação gráfica digital – prototipagem rápida – estrutura – teorias generativas – outra
geometria- linguagem de programação-matemática

6.1) Você acha que o uso de sistemas generativos (desenho paramétrico) contribuem para o processo criativo em arquitetura? Justifique sua resposta. **Sim, pois facilita a visualização do processo.**

6.2) Você considera o processo de desenho paramétrico um meio eficaz para a produção de soluções variadas para os problemas de projeto em arquitetura? Justifique sua resposta. **Sim, pois facilita a visualização do processo.**

6.3) Você acha que o desenho por meio de um sistema paramétrico auxilia na compreensão e reprodução do elemento geométrico? Justifique sua resposta. **sim**

6.4) Você acha que atividade de desenho paramétrico contribui para a compreensão dos princípios de métodos generativos para o projeto? Justifique sua resposta. **sim**

Nome: Rúbia Peixoto de Oliveira (ALUNO 05)

Disciplina: GGD3

Data: 28/02/2013

1.1) Qual semestre do curso de arquitetura você está cursando? **2º semestre.**

1.2) Quais programas computacionais para a representação gráfica você já utiliza? **Autocad e SketchUp**

2.1) Como você classifica o grau de dificuldade das atividades como um todo? Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil). Justifique sua resposta. **4. O programa é muito interessante, mas utiliza os algoritmos de uma maneira que eu ainda não estava habituada, por isso demorava um pouco para fazer as atividades.**

2.2) Como você classifica o grau de dificuldade dos exercícios com base no seu desempenho? Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil). **3. Alguns eram bastante intuitivos.**

2.3) Como você classifica o grau de dificuldade de compreensão de cada um dos seguintes aspectos trabalhados durante a atividade: Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil).

- (**3**) utilização da ferramenta (Grasshopper)
- (**2**) aplicação dos conhecimentos geométricos
- (**4**) compreensão dos princípios da parametrização
- (**3**) obtenção do resultado formal proposto e/ou desejado

3) Como você classifica o seu nível de satisfação em relação as habilidades e conhecimentos desenvolvidos durante a atividade? Dê um valor de 1 (pouco satisfatório) a 5 (muito satisfatório). Justifique sua resposta. **5. Adorei a ideia de utilizar algoritmos na arquitetura, não achei que fosse possível.**

4) Como você classifica o seu nível de interesse em aprender mais sobre métodos generativos para o projeto? Dê um valor de 1 (pouco interesse) a 5 (muito interesse). **5. Há muito mais mobilidade na criação e desenvolve a lógica.**

5) Quais os campos de conhecimento você considera mais importantes para a compreensão e utilização de uma abordagem paramétrica ao projeto de arquitetura? Escolha três alternativas.

Geometria–representação gráfica digital – Conceitos Paramétricos

6.1) Você acha que o uso de sistemas generativos (desenho paramétrico) contribuem para o processo criativo em arquitetura? Justifique sua resposta. **Sim, é possível ter mais controle das transformações geométricas utilizadas no processo de criação.**

6.2) Você considera o processo de desenho paramétrico um meio eficaz para a produção de soluções variadas para os problemas de projeto em arquitetura? Justifique sua resposta. **Sim, uma vez que é possível retomar facilmente qualquer parte do processo generativo por meio do algoritmo já criado.**

6.3) Você acha que o desenho por meio de um sistema paramétrico auxilia na compreensão e reprodução do elemento geométrico? Justifique sua resposta. **Sim. O desenvolvimento do algoritmo melhora a lógica necessária para determinar o processo de geração das formas.**

6.4) Você acha que atividade de desenho paramétrico contribui para a compreensão dos princípios de métodos generativos para o projeto? Justifique sua resposta. **Sim.**

Nome: OBERDAN MENDONÇA DA SILVA (ALUNO 06)

Disciplina: GGDIII

Data: 28/02/13

1.1) Qual semestre do curso de arquitetura você está cursando? **5º**

1.2) Quais programas computacionais para a representação gráfica você já utiliza? **CAD, SKECHUP,**

2.1) Como você classifica o grau de dificuldade das atividades como um todo? Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil). Justifique sua resposta. **3. ATÉ É COMPLICADA ESSA ATIVIDADE, MAS TEM LÓGICA E PARECE FAVORECER MUITO QUANDO SE TRATA DE CURVAS E ROTAÇÕES.**

2.2) Como você classifica o grau de dificuldade dos exercícios com base no seu desempenho? Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil). **2. EU PRECISARIA PRATICAR MAIS PARA MELHORAR MEU DESEMPENHO.**

2.3) Como você classifica o grau de dificuldade de compreensão de cada um dos seguintes aspectos trabalhados durante a atividade: Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil).

(**2**) utilização da ferramenta (Grasshopper)

(**3**) aplicação dos conhecimentos geométricos

(**4**) compreensão dos princípios da parametrização

(**5**) obtenção do resultado formal proposto e/ou desejado

3) Como você classifica o seu nível de satisfação em relação as habilidades e conhecimentos desenvolvidos durante a atividade? Dê um valor de 1 (pouco satisfatório) a 5 (muito satisfatório). Justifique sua resposta. **4**

4) Como você classifica o seu nível de interesse em aprender mais sobre métodos generativos para o projeto? Dê um valor de 1 (pouco interesse) a 5 (muito interesse). **5**

5) Quais os campos de conhecimento você considera mais importantes para a compreensão e utilização de uma abordagem paramétrica ao projeto de arquitetura? Escolha três alternativas.

matemática – física – linguagem de programação – geometria – teoria de projeto – estética – propriedade dos materiais – representação gráfica digital – prototipagem rápida – estrutura – teorias generativas – outra

GEOMETRIA E PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

6.1) Você acha que o uso de sistemas generativos (desenho paramétrico) contribuem para o processo criativo em arquitetura? Justifique sua resposta.

COM CERTEZA SIM. MUITOS DE MEUS PROJETOS EU TIVE QUE SIMPLIFICAR ALGUMAS FORMAS POIS NÃO CONSEGUIA REPRESENTÁ-LOS E JUSTIFICÁ-LOS EM PLANTAS OU EM 3D AS FORMAS MAIS CURVAS E ARROJADAS.

6.2) Você considera o processo de desenho paramétrico um meio eficaz para a produção de soluções variadas para os problemas de projeto em arquitetura? Justifique sua resposta. **SIM. OUTROS PROGRAMAS NÃO FAZEM CERTAS CURVAS OU INVERSÕES ETC. SE FAZEM NÃO É DO JEITO EXATO E PALPÁVEL COMO O PARAMÉTRICO.**

6.3) Você acha que o desenho por meio de um sistema paramétrico auxilia na compreensão e reprodução do elemento geométrico? Justifique sua resposta. **SIM. PELO PARAMÉTRICO PODE SER OBSERVADO COM EXATIDÃO AS ALTURAS E DEMAIS MEDIDAS E PODE OBSERVAR CADA PONTO E IDENTIFICAR CADA ETAPA. ISSO PROPORCIONA MUDANÇAS E ADIÇÕES SEM PERDER O QUE JÁ ESTÁ PRONTO.**

6.4) Você acha que atividade de desenho paramétrico contribui para a compreensão dos princípios de métodos generativos para o projeto? Justifique sua resposta.

SIM

Nome: Miguel Klee de Oliveira (ALUNO 07)

Disciplina: GGD3

Data: 28/02/2013

1.1) Qual semestre do curso de arquitetura você está cursando? **Segundo semestre.**

1.2) Quais programas computacionais para a representação gráfica você já utiliza? **Autocad e SketchUp**

2.1) Como você classifica o grau de dificuldade das atividades como um todo? Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil). Justifique sua resposta. **3 Me surpreendi com a facilidade do uso do programa (sendo orientado), aplicando conhecimentos gerais de GGD de uma maneira técnica.**

2.2) Como você classifica o grau de dificuldade dos exercícios com base no seu desempenho? Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil). **3.**

2.3) Como você classifica o grau de dificuldade de compreensão de cada um dos seguintes aspectos trabalhados durante a atividade: Dê um valor de 1 (fácil) a 5 (difícil).

- (**3**) utilização da ferramenta (Grasshopper)
- (**2**) aplicação dos conhecimentos geométricos
- (**4**) compreensão dos princípios da parametrização
- (**3**) obtenção do resultado formal proposto e/ou desejado

3) Como você classifica o seu nível de satisfação em relação as habilidades e conhecimentos desenvolvidos durante a atividade? Dê um valor de 1 (pouco satisfatório) a 5 (muito satisfatório). Justifique sua resposta. **5.**

4) Como você classifica o seu nível de interesse em aprender mais sobre métodos generativos para o projeto? Dê um valor de 1 (pouco interesse) a 5 (muito interesse). **5. (Escreveria 6 se pudesse)**

5) Quais os campos de conhecimento você considera mais importantes para a compreensão e utilização de uma abordagem paramétrica ao projeto de arquitetura? Escolha três alternativas.

Geometria—representação gráfica digital – Conceitos Paramétricos

6.1) Você acha que o uso de sistemas generativos (desenho paramétrico) contribuem para o processo criativo em arquitetura? Justifique sua resposta.

Sim. Aliados a um software com uma interface amigável creio que não só edifícios como objetos comuns podem ganhar novas formas, até então pouco exploradas.

6.2) Você considera o processo de desenho paramétrico um meio eficaz para a produção de soluções variadas para os problemas de projeto em arquitetura? Justifique sua resposta.

Não sei se seria uma 'solução', mas traz a inovação com como seu grande ponto forte. Conseguimos fugir do padrão 'caixinha', água para um lado e para o outro, etc.

6.3) Você acha que o desenho por meio de um sistema paramétrico auxilia na compreensão e reprodução do elemento geométrico? Justifique sua resposta.

Sim, é um pouco difícil no começo mas ao longo do processo a compreensão é lógica.

6.4) Você acha que atividade de desenho paramétrico contribui para a compreensão dos princípios de métodos generativos para o projeto? Justifique sua resposta.

Sim, na minha opinião pude compreender e aplicar princípios e conceitos de métodos generativos auxiliando o resultado final, representando obras já existentes tendo como base apenas conceitos geométricos, e porque não criar novas formas, obras e projetos.

ANEXO 3

QUESTIONÁRIOS – ATIVIDADE 02 - A

