

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo



Dissertação

**Entre Gaudí e Gehry: reflexões sobre a
estruturação de diretrizes didáticas nas áreas de
representação e projeto de arquitetura**

Juçara Nunes da Silva

Pelotas, 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Dissertação



**Entre Gaudí e Gehry: reflexões sobre a estruturação de diretrizes didáticas
nas áreas de representação e projeto de arquitetura**

Juçara Nunes da Silva

Pelotas, 2017

JUÇARA NUNES DA SILVA

**Entre Gaudí e Gehry: reflexões sobre a estruturação de diretrizes didáticas
nas áreas de representação e projeto de arquitetura**

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.

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

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S586e Silva, Juçara Nunes da

Entre Gaudí e Gehry : reflexões sobre a estruturação de diretrizes didáticas nas áreas de representação e projeto de arquitetura / Juçara Nunes da Silva ; Adriane Borda Almeida da Silva, orientadora. — Pelotas, 2017.

111 f.: il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Geometria. 2. Processos geométricos. 3. Tecnologias digitais. 4. Diretrizes didáticas. I. Silva, Adriane Borda Almeida da, orient. II. Título.

CDD: 720

Juçara Nunes da Silva

**Entre Gaudí e Gehry: reflexões sobre a estruturação de diretrizes didáticas
nas áreas de representação e projeto de arquitetura**

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 29/04/2017

Banca examinadora:

.....
Prof.^a Dr.^a Adriane Borda Almeida da Silva (Orientadora), Doutora em Didáctica de Las Ciências Experimentales pela Universidad de Zaragoza, Espanha (2001).

.....
Prof. Dr. Wilson Florio, Universidade Estadual de Campinas. Doutor em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo, Brasil (2005).

.....
Prof.^a Dr.^a Eliane Panisson, Universidade de Passo Fundo. Doutora em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (2007).

.....
Prof.^a Dr.^a Liziane Oliveira Jorge, Universidade Federal de Pelotas. Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo, Brasil (2012).

.....
Prof. Dr. Eduardo Rocha, PROGRAU - Universidade Federal de Pelotas. Doutor em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (2010).

“De um traço nasce a arquitetura. E quando ele é bonito e cria surpresa, ela pode atingir, sendo bem conduzida, o nível superior de uma obra de arte”.

Oscar Niemayer

RESUMO

SILVA, Juçara Nunes. **Entre Gaudí e Gehry: reflexões sobre a estruturação de diretrizes didáticas nas áreas de representação e projeto de arquitetura**. 2017. 111f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A produção arquitetônica contemporânea, especialmente aquela que tem se valido de processos digitais, tem provocado reflexões sobre as novas maneiras de produzir e ensinar arquitetura. As aparentes facilidades disponibilizadas por meios digitais de representação podem, por exemplo, induzir à adoção de soluções formais utilizando-se de geometrias complexas. Edificações como a Sagrada Família, de Gaudí, ou como o Museu Guggenheim de Bilbao, de Ghery, configuram-se como casos emblemáticos de emprego deste tipo de geometria, ambos, em seus momentos, inovando as maneiras de projetar e produzir arquitetura. Tais obras são estudadas em contextos formativos de arquitetura, especialmente em disciplinas de geometria e representação, por delimitarem problemas importantes com estes enfoques. Entretanto, junto aos processos educativos iniciais para a prática projetual há muito tem-se presenciado, por parte de professores de projeto, a detecção de conflito e até mesmo a imposição de limites para o exercício com soluções formais que abarquem tais tipos de arquiteturas. Neste contexto, este estudo buscou contribuir com a elaboração de diretrizes para a conformação de estratégias didáticas que possam contemplar de maneira integrada os discursos docentes advindos das diferentes áreas implicadas para maior compreensão sobre a questão da inserção dos meios digitais de representação e do manejo com geometrias complexas. Para elaborar estas idéias, utilizou para o cruzamento dos fatores uma ferramenta, da área da administração, chamada de análise SWOT. Esta análise distingue pontos de força e de fraquezas do(s) elemento(s) observado(s) e o(s) compara com os fatores de oportunidade e de ameaça que o ambiente oferece. Na pesquisa de campo foram identificados os seguintes elementos: o tipo de abordagem docente dada ao uso e exploração das geometrias complexas no ambiente acadêmico, especialmente junto aos estágios iniciais de formação, que é quando há o investimento no domínio da geometria para a prática projetual, suas tendências e resultados alcançados; a colaboração do ensino da geometria na estruturação do ensino/aprendizagem nos anos iniciais da formação acadêmica; o tipo de discurso didático na reestruturação da formação em geometria frente às novas tecnologias; a presença, junto aos discursos didáticos, de diretrizes para uma reflexão na área do ensino da geometria e de representação gráfica conectadas com as demais áreas do ensino e as tendências contemporâneas do ensino e do próprio ofício da Arquitetura. Ao identificar estes elementos, por meio de revisão da literatura, eles passam a compor o ambiente do ensino de geometria e representação gráfica, onde são tratados como oportunidades ou ameaças na matriz da análise SWOT, que é proposta. Em paralelo, os elementos colhidos da análise dos processos geométricos nas obras do Templo da Sagrada Família, em Barcelona, e o Museu Guggenheim de Bilbao, são identificados como forças e fraquezas, compondo os elementos internos da matriz na mesma análise. Os cruzamentos entre os componentes, forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, da matriz SWOT, apontam para a elaboração de diretrizes que podem embasar as discussões nesta área. A discussão aponta para a valorização da área da geometria como repertório e suporte no desenvolvimento das novas tecnologias digitais no campo da arquitetura.

Palavras-chave: Geometria, processos geométricos, tecnologias digitais, estratégias didáticas.

ABSTRACT

SILVA, Juçara Nunes. **Entre Gaudí e Gehry: reflexões sobre a estruturação de diretrizes didáticas nas áreas de representação e projeto de arquitetura.** 2017. 111f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

The contemporary architectural production, especially one that has relied on digital processes, has caused reflections on new ways of producing and teaching architecture. The apparent facilities provided by digital means of representation can, for example, induce the adoption of formal solutions using complex geometries. Buildings such as Gaudí's Sagrada Família or the Guggenheim Museum's as Gehry are emblematic cases of the use of this type of geometry, both in their moments, innovating the ways of designing and producing architecture. These works are studied in formative contexts of architecture, especially in disciplines of geometry and representation, for delimiting important problems with these approaches. However, along with the initial educational processes for the design practice, there has been a lot of project teachers witnessing the detection of conflict and even the imposition of limits for the exercise with formal solutions that cover such types of architectures. In this context, this study sought to contribute to the elaboration of guidelines for the formation of didactic strategies that can contemplate in an integrated way the teaching discourses coming from the different areas implied to a greater understanding on the question of the insertion of the digital means of representation and the manipulation with geometries complex. To elaborate these ideas, used for the data crossing a special tool of the administration area, called SWOT analysis. This analysis distinguishes points of strength and weaknesses from the observed elements and compares them against the opportunity and threat factors that the environment offers. In the research of articles published in this area, the following elements were identified: the type of teaching approach given to the use and exploration of complex geometries in the academic environment, especially in the initial stages of formation, when there is investment in geometry for the design practice, its trends and results achieved; the collaboration of the teaching of geometry in the structuring of teaching / learning in the initial years of the academic formation; the type of didactic discourse in the restructuring of geometry training in relation to new technologies; the presence, together with didactic discourses, of guidelines for a reflection in the area of teaching of geometry and of graphic representation connected with the other areas of teaching and the contemporary tendencies of teaching and the very craft of architecture. By identifying these elements in the literature review, they begin to compose the environment of the teaching of geometry and graphic representation, where they are treated as opportunities or threats in the SWOT analysis matrix, which is proposed. In parallel, the elements gathered from the analysis of the geometric processes in the works of the Temple of the Sagrada Família in Barcelona and the Guggenheim Museum in Bilbao are identified as strengths and weaknesses, composing the internal elements of the matrix in the same analysis. The data crossing between the components, strengths, weaknesses, opportunities and threats of the SWOT matrix point to the elaboration of guidelines that can support the discussions in this area. The discussion indicates to the valorization of the area of geometry as repertory and support in the development of new digital technologies in the field of architecture.

Keywords: Geometry, geometric processes, digital technologies, didactic strategies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - a) Cúpula de Santa Maria del Fiore. Corte perspectivado isométrico mostrando as posições das correntes de pedra, ferro e madeira que suportam os esforços de tração da cúpula; b) Desenho dos arcos de alvenaria de tijolo no aparelho em espinhas.	16
Figura 2 - Maquete funicular que representa a tridimensionalidade da curva catenária aplicada para solução das coberturas das cúpulas e pináculos, reproduzindo os carregamentos e gerando apoios bastante delgados.	17
Figura 3 - Um dos “campos perspécticos” explorados por F. Gehry na cidade de Bilbao, extraíndo expressividade das superfícies reflexivas e dos volumes ao construir o marco da era contemporânea da arquitetura.	19
Figura 4 - Escultura do Peixe, Complexo da Vila Olímpica, Barcelona (1992).	21
Figura 5 - a) Homem Vitruviano na edição do “De architectura” ilustrada por Cesare Cesariano; b) Homem Vitruviano desenhado por Leonardo da Vinci (1485-90); c) Modulor, produzido por Le Corbusier (1950).	24
Figura 6 - Diagrama de construção do retângulo áureo e da espiral áurea resultante	25
Figura 7 - Gráfico comparativo das preferências por retângulos, de Gustav Fechner e Charles Lalo.	26
Figura 8 - A área binocular e sua aproximação retangular mais próxima, tem a forma $L / H \sim 1,47$, onde R é a distância entre olhos.	27
Figura 9 - Triângulo de Sierpinski, criado em 1915.	29
Figura 10 - Ilha de Von Koch até a 2ª. iteração.	29
Figura 11 - Etapas da construção da Folha de Barnsley, por Eric Green, 1998.	30
Figura 12 - a) e b) Arco parabólico e sua construção geométrica; c) Interior de uma das torres, mostrando a estrutura que explora em três dimensões os arcos parabólicos catenários.	40
Figura 13 - Vista do teto da capela mor (ábside) no interior do Templo da Sagrada Família e algumas composições de paraboloides hiperbólicos, provocando uma apoteótica entrada de luz, valorizada ainda mais pelos filetes dourados.	42

Figura 14 - Construção de um parabolóide em gesso e a vista de seu modelo aramado e a geometria de uma superfície de dupla curvatura..	42
Figura 15 - a) Elevação tridimensional da composição de hiperbolóides no módulo do teto; b) a planta-baixa do módulo de 3,75m de lado..	43
Figura 16 - a) Construção do módulo básico do teto principal do Templo, a partir dos hiperbolóides e parabolóides; b) A composição de quatro módulos básicos, apoiados por uma coluna..	44
Figura 17 - A chegada do capitel hiperbolóide cônico na composição de hiperbolóides do teto.	44
Figura 18 - Sequência geométrica de imagens de hiperbolóides de uma folha de revolução para a geração das abóbodas do teto das naves laterais.....	45
Figura 19 - Diagrama que indica a geometria heterogênea das três superfícies de dupla curvatura utilizadas nas abóbodas do teto da Sagrada Família: hiperbolóides de revolução de uma folha, parabolóides hiperbólicos e elementos planares..	46
Figura 20 - Detalhe de um hiperbolóide de uma folha na nave central do Templo Sagrada Família.	47
Figura 21 - a) Vista do conjunto de colunas ramificadas que apoiam os 4 módulos do teto; b) 3D do conjunto de colunas e quatro módulos do teto..	48
Figura 22 - Visão da nave central do templo com suas abóbodas iluminadas pela luz solar, demonstrando as ligações estreladas dos hiperbolóides que permitem a passagem da luz e também a característica fractal de sua proposta.....	49
Figura 23 - Princípio do projeto do elemento helicoidal de duplo giro, utilizado por Gaudí para a confecção das colunas. Na base se identifica com a coluna salomônica, porém cria uma “nova ordem” ao sobrepor dois volumes com giros opostos entre si.	50
Figura 24 - a) Detalhe da planta da "coluna de 8" ao nível da base (ρ^0); b) Vista isométrica da base da coluna; c) Vista do modelo aramado da "coluna de 8" desde a base (ρ^0); até 14m (ρ^{14}).	50
Figura 25 - Desenvolvimento das várias plantas da coluna 8, em suas principais seções horizontais.....	51
Figura 26 – Detalhe de uma das janelas principais e sua complexa relação entre superfícies regradadas, suas geratrizes e diretrizes..	52

Figura 27 - a) Pontos de intersecção a e b entre 3 superfícies; b) Planta das tangências do colarinho com os pontos de intersecção; c) Projeção dos pontos até o plano de simetria da fachada; d) Planos triangulares e geratrizes dos hiperbolóides.....	53
Figura 28 - a) Elaboração da planta de biseis; b) Elaboração definitiva dos biseis; c) Isometria da seção do ‘ventanal’ com sua definição formal..	53
Figura 29 – Três exemplos de operações booleanas entre dois sólidos.	54
Figura 30 - Esquema geométrico da geração da “coluna de 4” de base quadrada e nódo que liga as quatro “colunas de 4” à “coluna de 8” na nave lateral do Templo Sagrada Família.	55
Figura 31 - Maclas sucessivas para chegar na forma desejada e o pequeno detalhe de um Pináculo.....	56
Figura 32 - a) Cúpula principal, Sagrada Família – Os paraboloides utilizados nos encontros dos hiperboloides das cúpulas com os hiperboloides das colunas (Foto: Florent Moritz); b) Estrutura do teto do Restaurante Flutuante do Oceanográfico de Valência, de Félix Candela, onde são vistos os distintos paraboloides que se apoiam em dois pontos e se mantêm em recíproco equilíbrio.	59
Figura 33 - As influências de Gaudí: a) Nave central do Templo Sagrada Família, Barcelona, de Antoni Gaudí (Foto: Mera); b) Estação Oriente, Lisboa, de Santiago Calatrava (Foto: Juan Manuel Roque Cuéllar); c) Passeio dos Arcobotantes – Palácio das Artes Rainha Sofia, Valência, de Santiago Calatrava e d) Cripta da Capela Guell, de Gaudí.	60
Figura 34 - Mapa da área central de Bilbao com as notas manuscritas de Frank Gehry em julho de 1991.	61
Figura 35 - Seleção de algumas fotos retiradas por 3 (três) dias consecutivos durante a elaboração da proposta de concepção e posteriormente apresentada no concurso para projeto do Museu Guggenheim, em Bilbao.....	62
Figura 36 - Modelos 3D do Barcelona Fish no CATIA, maquete e escultura do Peixe, no complexo da Vila Olímpica, Barcelona (1991).....	63
Figura 37 - Evolução do modelo, estudo do átrio externo, galerias e clarabóias, setembro de 1992..	63
Figura 38 - Esboços de Frank Gehry para a escultura do Peixe, na Vila Olímpica de Barcelona e o modelo 3D digital realizado com o <i>software</i> CATIA, 1991.....	64

Figura 39 - Croquis do Museu Guggenheim de Bilbao, julho de 1991: a) Implantação em lápis e giz de cera sobre papel vegetal, 50,8 x 82,6cm; b) Elevação norte em tinta sobre papel de carta do hotel, 21 x 29,8cm; c) Implantação com notas, tinta sobre papel, 23 x 30,5cm.	65
Figura 40 - Geometria das NURBS (Non-Uniform Rational Basis Splines)..	66
Figura 41 – Extrato: principais etapas da digitalização do modelo 3D de Gehry..	66
Figura 42 - Representação do CATIA, que mostra o átrio externo do Museu e a maquete do projeto feita em madeira e papel, em dezembro de 1993..	67
Figura 43 - Detalhes da estrutura metálica de sustentação do Museu Guggenheim de Bilbao..	68
Figura 44 - a) Átrio mostrando a grade da estrutura modular; b) Curvatura horizontal da estrutura secundária; c) Estrutura terciária para fixação das chapas..	69
Figura 45 - Os retângulos áureos na proporção da Fachada da Natividade.	71
Figura 46 - Identificação de proporções em fachada e plantas baixas do Museu Guggenheim: a) Elevação Leste parcial do volume prismático; b) planta de Implantação; c) planta do 2º nível..	73
Figura 47 - Padrões em folha falciforme. a) padrões identificados; b) planta de implantação com padrões de folhas falciformes; c) sobreposição de padrões.. ...	74
Figura 48 - As linhas de concordância entre os diferentes volumes.....	74
Figura 49 - Gráfico da Matriz SWOT..	78
Figura 50 - Gráfico da Matriz SWOT Avançada..	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Pertinência das questões na amostra de trabalhos selecionados.....	35
------------------	--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SWOT – Acrônimo das palavras Strenghts, Weaknesses, Opportunities e Threats

FOFA – Acrônimo das palavras Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças

S – Forças (Strenghts)

W – Fraquezas (Weaknesses)

O – Oportunidades (Opportunities)

T – Ameaças (Threats)

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Planilha dos artigos levantados como amostra na revisão da literatura.

SUMÁRIO

Introdução	7
1. Fundamentação teórica	12
1.1. Proposta de investigação	13
1.2. Uma breve linha do tempo na relação geometria x arquitetura	15
1.3. A proporção áurea	23
1.4. A geometria fractal	27
2. Metodologia	32
2.1. A revisão da literatura	33
2.2. Análise dos discursos publicados sobre as obras	39
2.2.1. O extrato geométrico do Templo da Sagrada Família	40
2.2.2. O extrato geométrico do Museu Guggenheim de Bilbao	60
2.3. A geometria nas análises compositivas	70
3. Uma análise na forma de matriz	76
3.1. A análise na matriz SWOT	77
4. Resultados e discussão	88
Referências bibliográficas	92
ANEXOS	99

Introdução

O momento atual é de transformação na produção arquitetônica contemporânea. Novos paradigmas se inscrevem a cada dia neste cenário, fazendo-nos pensar sobre as formas de produzir e ensinar arquitetura, enfrentar seus novos desafios, os novos formatos digitais e nos adaptar às novas tendências, necessidades, ofertas e demandas.

Ao analisar parte do cenário da produção de pesquisas educacionais na área da gráfica digital e buscar algumas diretrizes didáticas para o ensino de geometria, representação e projeto de arquitetura no meio acadêmico, vê-se a necessidade de repensar as formas de fazer e de ensinar a fazer arquitetura.

Na academia visualizamos um dualismo no ensino de arquitetura, situado entre as influências modernistas, ainda fortemente presente na formação dos docentes da área de projeto, e o tecnicismo atual, tendência mais comumente encontrada nos docentes da área de representação gráfica.

Uma atualização nos procedimentos didáticos tanto na área da geometria quanto na área de projeto e de teoria se faz necessária. Neste trabalho voltamos o interesse para a área dos processos didáticos da geometria buscando identificar algumas diretrizes e contribuições científicas nos discursos encontrados.

Nesse contexto pretendeu-se revelar um caminho para oferecer maiores possibilidades de expressividade arquitetônica, sem perder de vista os aspectos funcionais, conceituais, estruturais e contextuais, tão essenciais para alcançar o estado de excelência da arquitetura.

O caminho buscado é o de que a geometria esteja no ensino da arquitetura como um procedimento coadjuvante nas lógicas projetuais, nos diferentes momentos, nas soluções alternativas de projeto, que utilizam distintos métodos projetivos e construtivos.

Este tema se refere ao ensino de geometria como um dos aspectos iniciais da formação arquitetônica, quando os estudantes entram em contato com as formas de expressão mais utilizadas na arquitetura, o desenho e a modelagem. Nesta fase eles

ainda não tem bagagem na área de estudo e, nem mesmo, a maturidade para fazer escolhas ou avaliar os modelos que lhes são apresentados ou são gerados a partir de suas experiências.

Nesse contexto elaborou-se o seguinte questionamento: Quais são as maneiras de se introduzir os conceitos da geometria e da expressão gráfica, que são cada vez mais digitais, contribuindo e colaborando positivamente no processo projetivo?

Questões apareceram durante o desenvolvimento da pesquisa e buscaram identificar caminhos para conduzi-la de modo coadjuvante e estrutural, sem provocar indução a tendências ou estilos.

Diante das bases e influências modernistas, tão arraigadas na formação de grande parte do corpo docente das escolas, identificam-se alguns conflitos com as novas tendências tecnicistas, tanto na produção e conceito desta nova arquitetura, como na sua representação e materialização.

O ensino da geometria tem, entre outras, a função primordial de fornecer repertório formal, capacidade de análise geométrica e compreensão de como ela estrutura o projeto. Entretanto, observando um campo mais amplo, o ensino do projeto lança mão também de outros conhecimentos estruturadores, que passam pela área da teoria, da história, do conhecimento dos materiais, das técnicas construtivas, do comportamento estrutural, entre outros.

Este arcabouço de informações, que visa contextualizar as propostas, qualificar os trabalhos e dar suporte para os alunos se desenvolverem, precisa também acompanhar os avanços contemporâneos da arquitetura, visando formar novos profissionais que possam atuar de maneira colaborativa, recíproca e responsável com os novos recursos disponíveis.

Nesse cenário, buscamos identificar possibilidades para que o ensino da geometria possa entremear estas questões, fornecendo subsídios para a compreensão das propriedades de geração formal em seus variados estilos, suas evoluções e enfrentamentos, sem parecer invasivo ou tendencioso.

Com a proposta de encontrar elementos na produção pesquisada, é elaborado o seguinte objetivo geral para este trabalho: **investigar os fatores que podem contribuir na elaboração de diretrizes para a formação de um discurso didático na área do ensino da geometria nos cursos de arquitetura.**

O desenvolvimento desta investigação propôs contribuir com fatores que poderão fazer refletir sobre as novas reestruturações didáticas nas áreas de representação gráfica, ensino da geometria e processos projetuais. A revisão bibliográfica proposta, teve como guia orientador para a pesquisa, os objetivos específicos seguintes:

- i. investigar como está sendo apresentado o discurso didático na reestruturação da formação em geometria frente às novas tecnologias;
- ii. sugerir uma reflexão sobre os modos como a geometria está contribuindo no desenvolvimento da inteligência espacial¹ nos cursos de arquitetura;
- iii. propor uma contribuição no campo do ensino de geometria, valorizando a disciplina de geometria na formação acadêmica.

Para ilustrar estes processos, na fundamentação teórica desenvolvida no primeiro capítulo, apresentamos uma breve linha do tempo no desenvolvimento da arquitetura, focada principalmente na identificação de marcos, onde a conjugação arquitetônica, a tecnologia construtiva e a geometria aplicada ocorreram de maneira importante, quebrando os paradigmas de suas épocas.

Complementando este capítulo apresentam-se os fundamentos de dois tipos de análises compositivas, que são utilizadas tanto para embasar, quanto para estudar ou decifrar processos projetuais. Nesta pesquisa, em especial, a atenção se voltou para a proporção áurea e a geometria fractal. Isto se justifica, por que estes requisitos são especialmente encontrados na análise compositiva das obras identificadas na linha do tempo citada acima, das quais serão apresentados os extratos geométricos.

¹ Em 1983 Howard Gardner publicou sua obra *Frames of Mind* que identificava, pelo menos, 7 inteligências básicas, que impactaram a educação no início da década de 90. Entre elas figurava a inteligência espacial, que é caracterizada pela capacidade de perceber a configuração do espaço ou objeto e, mesmo na sua inexistência material ou física, transformá-lo ou ajustá-lo de maneira precisa, conforme a necessidade apresentada, envolvendo sensibilidade e capacidade de visualização ou representação. GARDNER, H. Estruturas da Mente - A teoria das inteligências múltiplas. 1ª ed., Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.

No segundo capítulo, a metodologia se desenvolve, apresentando na primeira parte a revisão da literatura com uma amostra das pesquisas que estão sendo realizadas na área do ensino da geometria e processos projetivos. Esta amostra representará o cenário ou o ambiente onde se processará a análise que se acontecerá na sequência. Complementando esta revisão da literatura, foi feita uma varredura nos discursos que apresentam as duas obras escolhidas. Para isso foram selecionadas as duas obras mais expressivas em termos formais, que são o Templo da Sagrada Família e o Museu Guggenheim de Bilbao. Os detalhes sobre suas principais características compositivas e geométricas são identificadas através de discursos publicados sobre elas.

Com a proposição da sua utilização como alternativas exemplares para o estudo da geometria e após realizar a revisão da literatura desenvolvida no terceiro capítulo, a metodologia se complementa através de uma análise que utiliza uma ferramenta muito empregada no campo da administração, capaz de visualizar o cenário de maneira estratégica, ponderando pontos positivos e negativos, bem como analisando a proposta no tempo e no espaço.

Assim, o terceiro capítulo apresenta esta análise. Chamada de SWOT (acrônimo das palavras Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats), e no Brasil, análise FOFA, emprega uma matriz para cruzar os fatores denominados de Forças e Fraquezas, suas características internas, com as Oportunidades e Ameaças, componentes do ambiente externo.

As análises buscaram contribuir de maneira substancial para identificar estratégias válidas para o ensino da geometria de arquitetura, tentando identificar o que pode se apresentar como oportunidades ou ameaças formais à formação dos alunos.

No caso em estudo, ela foi empregada no sentido de identificar os pontos fortes e fracos das obras apresentadas, através dos discursos pesquisados, bem como sua pertinência às tendências contemporâneas, reconhecendo algumas oportunidades e as ameaças ao ensino da geometria e da arquitetura.

Além disso, segundo um de seus criadores, Albert Humphrey (2015), é preciso também identificar os aspectos positivos e negativos com relação ao tempo. O bom

no presente é **força** e no futuro será **oportunidade**. O ruim, no momento presente, é **fraqueza** e no amanhã representará **ameaça**.

Ao apresentar a revisão sobre as pesquisas feitas na área da geometria, a identificação destes pontos positivos e negativos, ou melhor, as oportunidades e as ameaças, vai compor os recursos analíticos para o cenário. A matriz destes fatores, apresentada no terceiro capítulo, visa proporcionar uma visão estratégica do ambiente do ensino de geometria na formação dos estudantes de arquitetura.

Da mesma forma, ao apresentar os discursos sobre as obras e seus processos geométricos projetuais, à medida que estas características foram identificadas como forças ou fraquezas, também foram apontadas ao longo do texto.

É por este caminho que este trabalho de pesquisa foi conduzido, buscando identificar diretrizes para um discurso que contemple as questões apresentadas e questione as práticas pedagógicas no setor, apresentando as reflexões sobre a sua estruturação frente às mudanças.

Pretende-se entender como o uso deste tipo de projeto complexo pode ou não contribuir para o fortalecimento do estudo da geometria e seus recursos na produção da arquitetura e para o desenvolvimento dos alunos com os aspectos do cenário geral no ensino de arquitetura.

Trata-se de uma análise baseada em duas obras marcantes, não só em termos geométricos, mas também na relação com as tecnologias construtivas e de produção, a utilização qualitativa de materiais, os processos de modelagem, a exploração e utilização de novos recursos formais, entre outros.

Em suma, esta pesquisa intenciona, por intermédio dos resultados obtidos, contribuir para o avanço das discussões e debates sobre o assunto, proporcionando elementos para novas pesquisas sobre o tema, permitindo uma ampla visualização sobre o assunto e a valorização da disciplina, seus elementos básicos e fundamentais na formação dos novos profissionais de arquitetura, possibilitando uma maior adequação às oportunidades que o horizonte arquitetônico apresenta.

1. Fundamentação teórica

Visando identificar algumas características comuns empregadas em diferentes trabalhos publicados na área do ensino de geometria e representação gráfica, seus questionamentos e enfoques, tenta-se reconhecer, ao final, um fio condutor que nos leve a identificação dos critérios presentes nas análises feitas na área e possibilite a identificação de um discurso pedagógico para as disciplinas que trabalham com a geometria.

Alguns questionamentos orientaram a seleção dos trabalhos para desenvolver a análise dentro deste cenário de transformações e quebras de paradigmas com relação às formas de ensinar e produzir arquitetura, fazendo face às dificuldades e aos desafios que as transformações trazem consigo.

Considerando que uma das características da produção arquitetônica contemporânea é a utilização das geometrias complexas, é válido buscar nos trabalhos publicados referências a estudos de caso ou produção de modelos baseados em análises de projetos de referência, projetos exemplares ou ainda, redesenho de projetos que tenham se utilizado destes recursos? E em que momento do curso estes processos devem iniciar, visto que muitos alunos têm acesso a recursos disponíveis, mesmo sem ter embasamento teórico ou senso crítico sobre suas produções?

A inteligência espacial, dentre tantas habilidades que devem ser promovidas nos estudantes, é importante por ser a capacidade que possibilita a representação mental do mundo exterior e vice-versa, que controla a percepção dos espaços e suas variações formais e tridimensionais. Ela pode ser definida como a habilidade de gerar e transformar, assim como reter, imagens visuais de maneira estruturada. Ela tem sido compreendida, em muitos domínios, como importante aptidão para desenvolvimento da criatividade, da ciência e da matemática.²

² LOHMAN, David F. Spatial Ability and G. Spearman Seminar, Plymouth, 1993.

O desenvolvimento destas habilidades auxilia na geração de modelos mentais ao pensar, de maneira espontânea, facilitando muito a expressão das idéias e a estruturação de propostas que envolvem espacialidade.³

As pesquisas na área da geometria têm buscado adaptar os processos mais tradicionais de desenvolvimento e representação de projetos na direção do uso mais abrangente das novas tecnologias digitais. Essa transição tem se mostrado cada vez mais necessária e pertinente ao desenvolvimento e atualização das técnicas pedagógicas, que visam instrumentalizar os seus alunos para responderem qualitativamente às novas demandas e oportunidades do setor. Cabe então verificarmos se há integração das práticas pedagógicas às tecnologias digitais e à exploração de geometrias complexas nas pesquisas e experiências apresentadas?

1.1. Proposta de investigação

Como ponto de partida para a análise utilizamos uma crítica aos modos de ensinar arquitetura, feita por Edson Mahfuz, onde aponta para a atual baixa qualidade na produção e no ensino da arquitetura, enraizada nos procedimentos que iniciam no século passado (SILVA, 2003), e ainda hoje apresentam uma tendência ao “conceitualismo” e, mais recentemente, ao “digitalismo”, acompanhados de formalismo, sensacionalismo criativo e “determinismo funcionalista”. (MAHFUZ, 2011)

Esta reflexão de Mahfuz considera que, aliado a um discurso de argumentos formais e conceituais desvinculados do “problema do projeto” e, geralmente, das relações funcionais por ele sugeridas, os estudantes têm trabalhado sem referências, ignorando os contextos aos quais se inserem e a própria história da arquitetura.

Ao publicar este artigo no portal **Vitruvius**, Mahfuz (2013) provocou o manifesto de Octavio Lacombe, intitulado de “Ousadia e experimentação: sobre os muitos modos de educar para a arquitetura e suas possibilidades”, onde defendeu que as inovações e mudanças na arquitetura são necessárias para reposicionar a disciplina com relação aos avanços tecnológicos nas outras áreas, como historicamente sempre ocorrera, dada sua característica intrínseca de multidisciplinaridade.

³ CANTÜRK-GÜNHAN, Berna; TURGUT, Melih; YILMAZ, Süah. Spatial Ability of a Mathematics Teacher: The Case of Oya. Sixth Conference of European Research in Mathematical Education. IBSU Scientific Journal, 2009, p. 151-158.

Lacombe rebateu igualmente a ideia de Mahfuz (2013), quando este afirmou que é essencial no ensino acadêmico “o envolvimento direto com a arquitetura como único modo de aprender a projetar, o entendimento da noção de forma como sistema de relações e a busca de identidade formal como um dos principais objetivos do projeto”.

Ao dizer que há muitos modos e possibilidades de projetar e ensinar arquitetura, Lacombe concorda que é importante aprender conhecimentos consolidados, mas a inovação e a experimentação andam sempre em paralelo com a produção de conhecimento.

O processamento digital, criticado por Mahfuz como isento de “critérios lógicos” foi refutado com o argumento de que nos últimos tempos os projetos têm respondido melhor às demandas de desempenho e de tecnologias, às exigências ambientais e de usuários mais criteriosos e informados, alcançando performances que vão além dos limites formais da própria obra.

Isto nos encaminha para outra reflexão sobre os fundamentos das abordagens pedagógicas no ensino de arquitetura que fala da “origem centenária dos conceitos” por ele utilizados (SILVA, 2003). Aqui, Elvan Silva lembra que a funcionalidade, tão preconizada no modernismo e nas salas de aula, não pode deduzir de maneira lógica a solução formal e construtiva adequada, ou seja, não existe fórmula exata para isso acontecer.

Elvan Silva (2003) indica, ao final, que a investigação no campo do ensino da arquitetura deva seguir no estudo da “projetualidade”, no texto “considerada como aquela categoria complexa que inclui tanto a convicção de que o mundo visível pode ser aperfeiçoado como a sistematização do conhecimento para identificar os elementos programáticos e modos apropriados de encaminhar as soluções requeridas” (SILVA, 2003, p.4).

Ainda ressalta Elvan Silva (2003), que o ensino da arquitetura é, na sua essência, um processo que aspira transformar os espaços aparentes a partir da vontade dos usuários, mesmo que às vezes de maneira puramente teórica, mas sempre buscando focar na qualidade. É nessa “projetualidade” que a totalidade do

corpo docente da instituição deve se envolver, competente e responsavelmente, e esta pesquisa visa encontrar sua linha de investigação.

O ensino da geometria situa-se dentro da “Teoria da Produção Arquitetônica” que, segundo Elvan Silva (2003), além de ser uma das teorias dominantes neste campo, envolve-se basicamente com o fazer e a materialização dos objetos arquitetônicos.

Esta discussão acendeu o interesse em avaliar este cenário, identificando suas oportunidades de crescimento e evolução, de formas a tentar identificar um novo caminho para fugir da estagnação didática e, ao mesmo tempo, evitar o risco de falhas ou erros que poderão comprometer a formação de nossos futuros profissionais.

O panorama da arquitetura mundial sugere, por um lado, a necessidade de um novo e mais próximo contato com a geometria, por outro, que a geometria precisa se adaptar às novas abordagens que a arquitetura lhe propõe (POTTSMANN et al, 2007). Neste ponto, a obra intitulada *Architectural Geometry* posiciona-se na região de ligação entre estas duas faces do mesmo problema.

Assuntos básicos e clássicos da geometria precisam ser complementados com novos tratamentos e possibilidades que o meio digital disponibiliza. Aspectos estruturais e fabris devem ser pensados ou considerados desde a concepção do projeto, bem como prover contexto para o material a ser utilizado.

A pesquisa da geometria arquitetônica situa-se no limite entremeado da arquitetura e da geometria aplicada, identificando a geometria como o centro do processo projetual digital em arquitetura (POTTSMANN et al, 2007).

1.2. Uma breve linha do tempo na relação geometria x arquitetura

Alguns momentos de mudanças importantes foram verificados na produção arquitetônica no que se refere à aplicação da geometria. Ocasões onde a percepção e a produção da arquitetura sofreram profundas alterações em seus fundamentos. O centro do processo projetual, no qual se referiu Pottmann, no parágrafo anterior, tão intimamente ligado à geometria, teve um salto de performance importante no Renascimento, com o trabalho de Filippo Brunelleschi.

Brunelleschi conseguiu “configurar o sistema científico de codificação e representação da arquitetura”, inaugurando a “espacialidade moderna” (ARANTES, 2012, p.128-129).

Com a solução apresentada para a cúpula da Igreja da Santa Maria del Fiore, em Florença (Figura 1), Brunelleschi inovou não só nas relações de produção, na maneira como fez o projeto e na técnica construtiva utilizada, mas também, na reintrodução do uso das perspectivas cônicas, permitindo demonstrar em duas dimensões as formas tridimensionais complexas com mais precisão e realismo (ADDIS, 2009; FERRO, 2006).

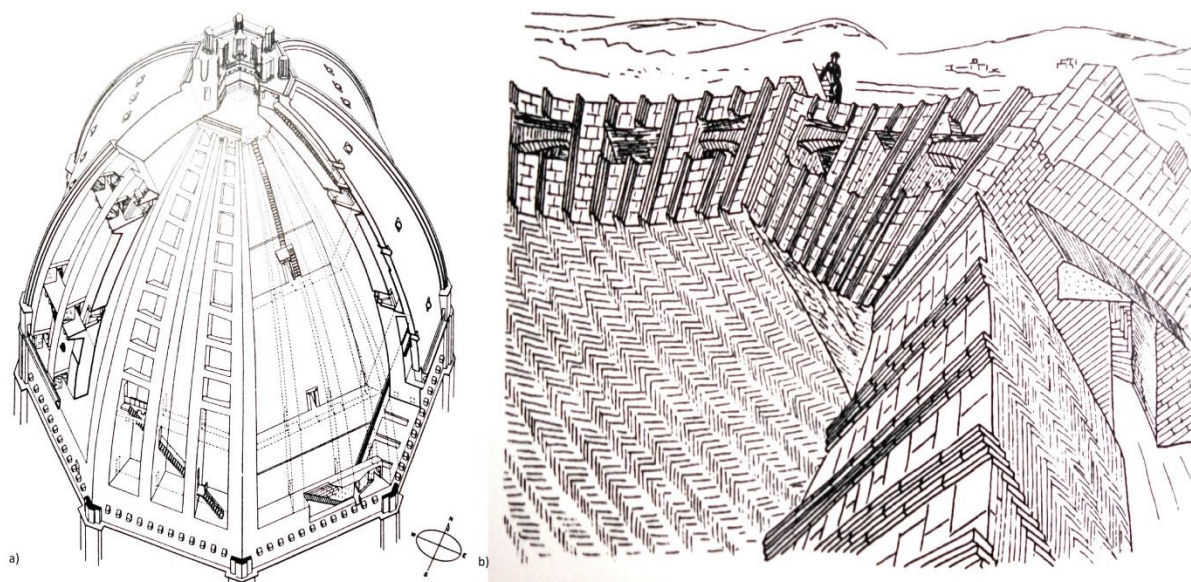


Figura 1 - a) Cúpula de Santa Maria del Fiore. Corte perspectivado isométrico mostrando as posições das correntes de pedra, ferro e madeira que suportam os esforços de tração da cúpula; b) Desenho dos arcos de alvenaria de tijolo no aparelho em espinhas. Fonte: ADDIS, 2009, p123

Nessa época ocorre também a separação entre o desenho e o canteiro de obras:

“...a passagem da geometria construtiva do grande compasso, arte inaugural dos construtores, tesouro e síntese de seus ‘segredos’ e competências, para a geometria formal do pequeno compasso, rende de curvas e contracurvas que se comunicam livremente no arabesco gratuito. Um serve para a construção que dita formas; o outro, para as formas às quais a construção deve se adaptar” (FERRO, 2006, p.331).

Assim é que se inicia a arquitetura como ainda temos até hoje.

Outro momento, exemplo de inovação e ousadia, ocorreu já no final do século XIX, quando Antoni Gaudí i Cornet, rompe com o tradicional e inova adaptando a curva catenária invertida de Robert Hooke à tridimensionalidade, gerando solução de leveza para suas abóbodas, definindo os melhores pontos de apoio para suas estruturas ficarem mais delgadas (ADDIS, 2009).

O principal projeto de Gaudí, fruto de sua genialidade geométrica, o Templo da Sagrada Família, em Barcelona, ainda não concluído, ficou expresso em maquetes de gesso criadas com a intenção de que sua obra pudesse ser finalizada, mesmo após a sua morte, seguindo a complexidade geométrica de suas ideias (ADDIS, 2009).

O conjunto da obra foi subdividido em partes (fachadas, naves e pináculos) cada uma com um protagonismo geracional geométrico próprio, utilizando entre outros as abóbodas hiperboloides, os duplos tornos helicoidais e fractais em suas estruturas. Gaudí foi um geômetra por excelência, se utilizando muito dos conhecimentos da matemática e da física para compor seu trabalho (BURRY et al, 1996).

Gaudí estabeleceu, através da geometria, novas regras de uso e formas para materiais já consagrados, transformando suas estruturas em peças delgadas e elegantes, otimizando os comportamentos estruturais e quebrando, com isso, alguns paradigmas seculares (Figura 2).

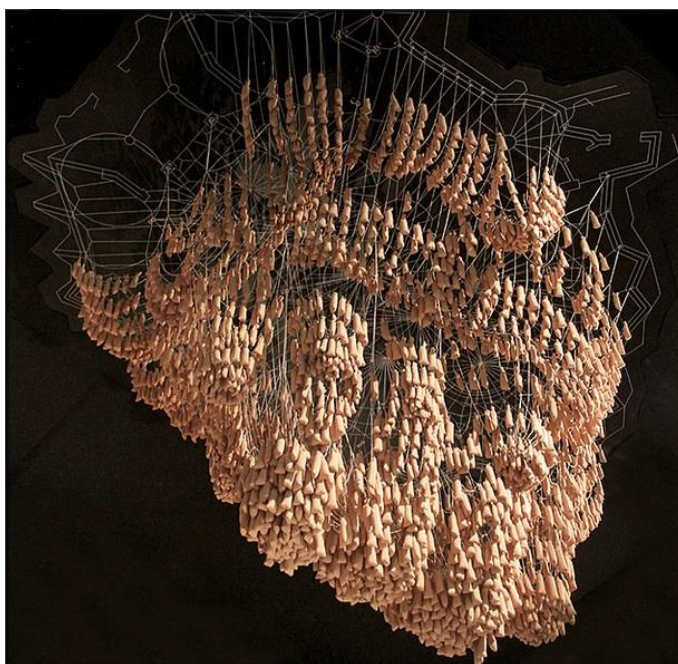


Figura 2 - Maquete funicular que representa a tridimensionalidade da curva catenária aplicada para solução das coberturas das cúpulas e pináculos, reproduzindo os carregamentos e gerando apoios bastante delgados. Fonte: <<http://www.elliodeabi.com/2014/06/museo-gaudi-en-reus.html>>

Até os dias de hoje a obra de Gaudí provoca curiosidade quando, ao estudá-la, nos deparamos com os processos geométricos complexos utilizados para criar a expressividade obtida, para gerar as formas naturais na volumetria do conjunto arquitetônico proposto (ADDIS, 2009).

Na sequência, após mais de meio século, entram em cena os computadores para alterar de maneira ainda mais radical o projetar e o produzir arquitetura. Novos materiais e novas tendências emergem. As mudanças projetivas avançadas, ocorridas na indústria militar, em especial na aeroespacial, foram posteriormente apropriadas por alguns arquitetos com propostas mais ou menos arrojadas (ARANTES, 2012).

Inicialmente as aplicações baseavam seus desenhos nos eixos x e y. Na sua evolução de duas para três dimensões, os processos de desenhos e projetos passaram a ser chamados de modelagem. Com mais propriedade do que as maquetes, a modelagem digital pode conter aspectos fundamentais associados à forma geométrica, como por exemplo, as propriedades físicas, as características estruturais e os materiais empregados (ADDIS, 2009).

Neste desenvolvimento, identificamos mais uma alteração na forma de produzir arquitetura. A automação dos processos é exemplificada no projeto do Museu Guggenheim, em Bilbao, de Frank Owen Gehry, e representa um marco no questionamento sobre a definição convencional de objeto de arquitetura, as estratégias inovadoras projetuais e as novas práticas profissionais (COHEN, 2013).

No processo projetivo que desenvolveu o Museu, Gehry parte do exaustivo estudo e ajustes através das maquetes físicas. Depois de encontrar a volumetria desejada, a maquete passou por uma leitura ou varredura digital, o que possibilitou a migração do projeto para a sua versão digital.

Gehry, com esta obra, além de revolucionar na forma do edifício, reestrutura os “campos perspécticos” locais (Figura 3) e reposiciona a cidade no cenário global (ARANTES, 2012, p.30). Assim como Brunelleschi em Florença, ele quebra paradigmas nas áreas da representação gráfica, produção do edifício e nas relações de produção.



Figura 3 - Um dos “campos perspécticos” explorados por F. Gehry na cidade de Bilbao, extraindo expressividade das superfícies reflexivas e dos volumes ao construir o marco da era contemporânea da arquitetura. Fonte: <https://classconnection.s3.amazonaws.com/103/flashcards/533103/jpg/guggenheim_museum_bilbao_spain_011305800064336.jpg>

Os processos de seus projetos esculturais passam por leituras totalmente digitais, assumindo assim toda a sua complexidade geométrica, encontrando um novo modo de apresentar e registrar o projeto. Na etapa seguinte, passam para o interior das oficinas, onde as máquinas de controle numérico (CNC) recebem o projeto e produzem suas partes componentes diretamente, que serão posteriormente montadas na obra. Essas mudanças, principalmente nos aspectos que nos interessam nesta pesquisa, estão refletindo alterações nas formas de projetar até os dias de hoje (ARANTES, 2012).

As universidades assumem a tarefa de produzir novos projetistas habilitados nas tecnologias digitais, que substituem a forma convencional de projetar e desenhar pela nova mídia digital (OXMAN, 2008).

As transformações mais recentes ocorridas, tanto nas possibilidades de conceber um projeto como na forma de representá-lo, alteraram definitivamente a essência das suas limitações formais, técnicas, geométricas e instrumentais. Isto nos revela a importância da pesquisa na área dos processos projetivos que se apoiam na geometria, pois os caminhos da produção arquitetônica contemporânea passam também pelo domínio da geometria complexa, o uso de novos materiais e uma total reformulação na forma de ver e pensar a arquitetura (FLORIO, 2011).

Novos referenciais no ensino de arquitetura derivam diretamente das mudanças trazidas pela pedagogia do projeto digital. Esta nova pedagogia para o ensino de projeto trabalha com uma estrutura voltada para abarcar, além do projeto conceitual, as teorias, modelos, técnicas e práticas digitais. (OXMAN, 2008).

Essa condição exige agora uma redefinição da bagagem de conhecimentos e do apoio teórico para o ensino de arquitetura, especialmente do projeto. Apresenta-se uma nova proposta: criar uma nova pedagogia de projeto que identifique a amplitude e os benefícios dessa redefinição cultural e tecnológica da arquitetura contemporânea, conciliando as novas demandas aos conhecimentos técnicos necessários (OXMAN, 2008).

Já que a cultura profissional arquitetônica acolheu a mudança ocorrida de modo transcendente aos protocolos de estilos, é necessário reconsiderar também, as bases do ensino de projeto. A fusão da prática em arquitetura com a teoria de projeto caracteriza-se como um fator influente à matéria de estudo de projeto e ensino de projeto (OXMAN, 2008).

Ultimamente as tecnologias surgidas começaram a comprometer e influenciar as questões centrais da teoria do projeto, bem como seus aspectos conceituais e de metodologia. A exploração das geometrias complexas e a materialização das tecnologias e dos processos fabris abriram novas possibilidades e direções para o desenvolvimento formal da arquitetura. Importante mobilizador neste sentido foi Frank Gehry, com seu projeto do Museu Guggenheim (1993-1997), em Bilbao (OXMAN, 2008).

Um pouco antes disso, em 1991, a equipe de Gehry esteve envolvida com os desafios da complexidade geométrica do Barcelona Fish (Figura 4), o que permitiu o desenvolvimento de um *software* sob medida para arquitetos, o Digital Project, que foi amplamente posto à prova no caso do museu, propondo um trabalho com novas direções formais, e foi posteriormente lançado em 2004 (DAVIS, 2013).



Figura 4 - Escultura do Peixe, Complexo da Vila Olímpica, Barcelona (1992). Fonte: <<http://img.fotocommunity.com/kupfer-fisch-21e3dbc6-5e05-4719-a0e8-e68f5517a51c.jpg?width=1000>>

A moderna teoria do projeto já reconheceu, na primeira década do novo século, esta importante interferência da arquitetura digital. A ênfase ainda era no discurso teórico, relacionado ao projeto, sem levar muito em conta os aspectos sistemáticos relacionados aos métodos e às técnicas projetuais. A teoria da arquitetura digital deve iniciar com a identificação das relações existentes entre a teoria e prática, tomando a tecnologia como a grande intermediária entre as teorias de projeto e de arquitetura (OXMAN, 2008).

Nessa linha os modelos de formação paramétrica exploram a geometria associativa e descrevem as relações entre os objetos, suas interdependências e transformações de comportamento; os modelos evolutivos se baseiam em imitar regras de crescimento natural; e, por fim, os modelos de performance, são dirigidos por avaliações e simulações de aspectos de desempenho (OXMAN, 2008).

No período da Bauhaus a arquitetura viveu momento semelhante, porém com a adaptação de suas antigas teorias aos novos modelos pedagógicos, que, na ocasião, visavam integrar os domínios das artes plásticas e manufaturas, utilizando-se dos materiais (vidro, metal, pedra, etc) como propriedades chave na manipulação dos projetos, como um novo modelo de ensino. Para isso, diz Rivka Oxman (2008), uma nova geração de professores precisou ser formada.

Da mesma forma hoje, o ensino digital repercutirá em muitas manifestações curriculares na arquitetura, promovendo novas integrações entre teorias e modelos, entre as formas distintas dos ateliers digitais e aqueles ainda baseados em papel. Uma das responsabilidades das instituições acadêmicas é, justamente, fornecer a base para o novo discurso teórico que apoiará e explicará as novas implicações projetuais.

Rivka sugere que a tradicional sequência metodológica de desenvolvimento (a análise de um dado local, a definição do programa funcional, projeto conceitual, a geração dos espaços arquitetônicos, representação visual, etc.) pode ser explorada e substituída por um princípio didático que a transcenda. Ao invés de trabalhar com a orientação de projeto, a investigação possa partir de modelos e processos digitais que explorem a capacidade material, mudando substancialmente a lógica projetual. ‘A teoria é expressa como método e o método torna-se o modelo no processo de criação, sendo integrado no atelier’. (OXMAN, 2008, p. 111).

A abordagem para o ajuste do digital e do teórico tem lidado com os problemas como qualquer novo processo pedagógico. As pesquisas têm trabalhado no sentido de criar uma nova classificação para a teoria da arquitetura digital, gerando as bases teóricas dos novos processos de projeto, que, por sua vez, estão transformando os modelos e as lógicas de projeto tradicionalmente aceitos.

O projeto digital parece ser, definitivamente, uma tendência corrente e, conseqüentemente, os temas dos discursos teóricos tem se concentrado sobre a teoria do projeto digital. “Juntamente com os que acompanham os desenvolvimentos tecnológicos e de mídia, as bases da formação do arquiteto parecem estar necessitando de uma reforma de baixo para cima”. (OXMAN, 2008, p. 117)

Assim, a questão que atravessa esse cenário é de como está sendo pensado um discurso didático que reestruture a formação em geometria? De que maneira a geometria está contribuindo para a construção de métodos projetuais digitais? De que forma a própria tecnologia digital está contribuindo para a construção e adequação dos métodos projetuais existentes?

As principais características que forneceram elementos para justificar a escolha destas obras para estudo é o fato dos dois projetos terem se utilizado da geometria complexa, serem exemplares emblemáticos e controversos no cenário da arquitetura, obras que quebraram paradigmas com suas respectivas técnicas projetivas, cada uma a seu tempo, exigindo uma transposição dos limites dos métodos projetivos praticados até então, bem como avanço na inovação tecnológica e na materialidade.

São processos que utilizaram com mestria a geometria, mesmo que por meios artesanais, físicos ou ainda em estágios iniciais do uso das tecnologias para a parametrização no espaço digital e a modelagem tridimensional em seu desenvolvimento.

Este trabalho buscou identificar se o fato destes projetos se apresentarem como exemplares, mesmo antes de existirem os processamentos digitais atuais, os habilita a serem utilizados como trabalhos de referência para análise em sala de aula, juntamente aos processos de ensino aprendizagem.

1.3. A proporção áurea

O padrão de proporções clássicas e seus princípios conceituais encontra seus primeiros registros nos manuscritos de Vitruvius, que viveu entre o século I a.C. e I d.C. deixando o seu tratado “De Architectura” como legado.

As proporções indicadas por ele na arquitetura referiam-se às medidas do corpo humano, estampadas em um gráfico, posteriormente chamado de Homem Vitruviano.

O seu gráfico foi reajustado, séculos mais tarde, por Leonardo da Vinci, tornando-se umas das figuras icônicas que representam as proporções, tanto na arquitetura quanto na arte clássica (Figura 5). A área do círculo, como também a área do quadrado, ao qual se inscreve o corpo humano, tem áreas idênticas e a razão entre

o lado do quadrado e o raio da circunferência verifica também uma aproximação com o valor de Phi ($\varphi = 1,618$).

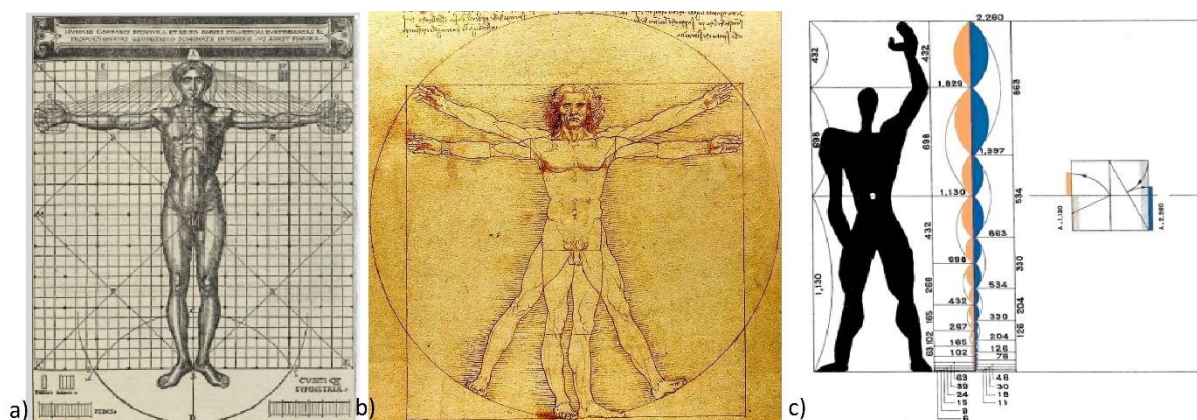


Figura 5 - a) Homem Vitruviano na edição do “De architectura” ilustrada por Cesare Cesariano; b) Homem Vitruviano desenhado por Leonardo da Vinci (1485-90); c) Modulor, produzido por Le Corbusier (1950). Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/De_architectura> e <http://www.fondationlecorbusier.fr/CorbuCache/410x480_2049_3347.jpg?r=0>

A Vitruvius é atribuída também a origem do conceito modular, passando pela análise das proporções e seus traçados reguladores (ELAM, 2014). Tempos mais tarde, já na metade do século XX, Le Corbusier publicou seu ensaio⁴, também sobre o assunto. O Modulor é uma grade geométrica baseada nas formas e proporções humanas. Le Corbusier relacionou as proporções áureas com a sequência de Fibonacci, onde uma escala tende ao zero e a outra ao infinito.

Este conceito de proporções, onde a harmonia se estabelece entre as partes, registrado inicialmente por Vitruvius e demonstrado em suas análises das proporções áureas encontradas, por exemplo no Partenon de Atenas, materializa que a razão entre a largura e a altura do retângulo sendo o número Phi ($\varphi = 1,618$), será chamada de razão áurea, proporção áurea ou seção de ouro.

A base desta medida está relacionada com a escala humana, com as proporções encontradas entre diferentes partes do corpo. Esta proporção está geometricamente apresentada na Figura 6, onde a razão entre as partes é a constante φ e pode se reproduzir infinitamente, conformando também a espiral áurea.

⁴ Le Modulor: essai sur une mesure harmonique à l'échelle humaine applicable universellement à l'architecture et à la mécanique, 1950

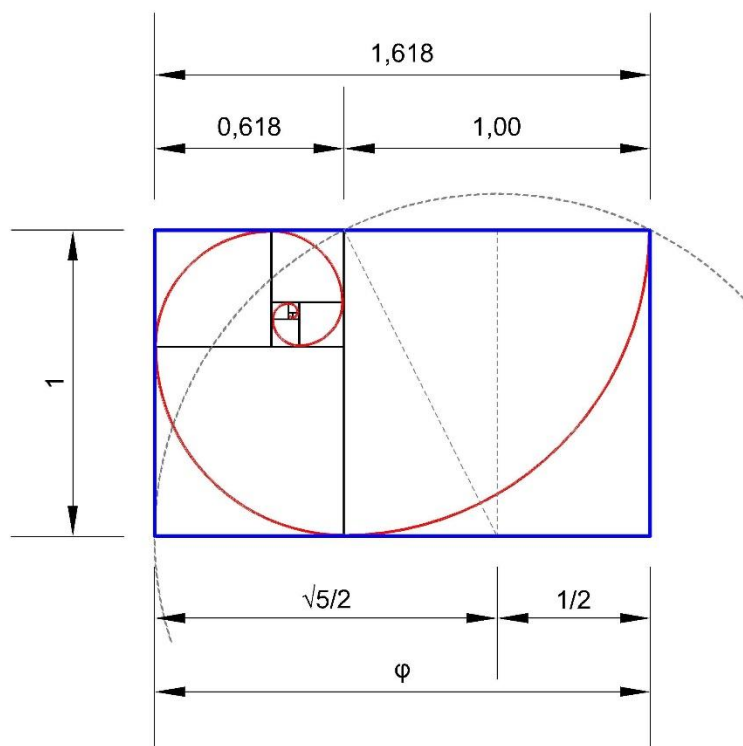


Figura 6 - Diagrama de construção do retângulo áureo e da espiral áurea resultante. Fonte: ELAM, 2014, p. 8.

O sistema de proporções, além de ser demonstrado matematicamente ou geometricamente, teve sua evidência manifestada em estudos baseados em aspectos cognitivos dos observadores.

Ainda antes do despontar do século XX, o psicólogo Gustav Theodore Fechner⁵ fez registros informais das preferências de um grupo de pessoas colocados diante de dez opções de formas retangulares.

Estes resultados foram organizados e apresentados na forma de uma tabela (Figura 7). Este levantamento identificou, dentre as opções apresentadas, uma tendência de preferência pela proporção do retângulo áureo. Esta pesquisa, apesar de ter sido contestada por alguns estudiosos na época, foi confirmada por um estudo científico mais rigoroso, já no início do século XX, pelo filósofo Charles Lalo (ELAM, 2014).

⁵ Publicados em "*Vorschule der Aesthetik*" (1876).

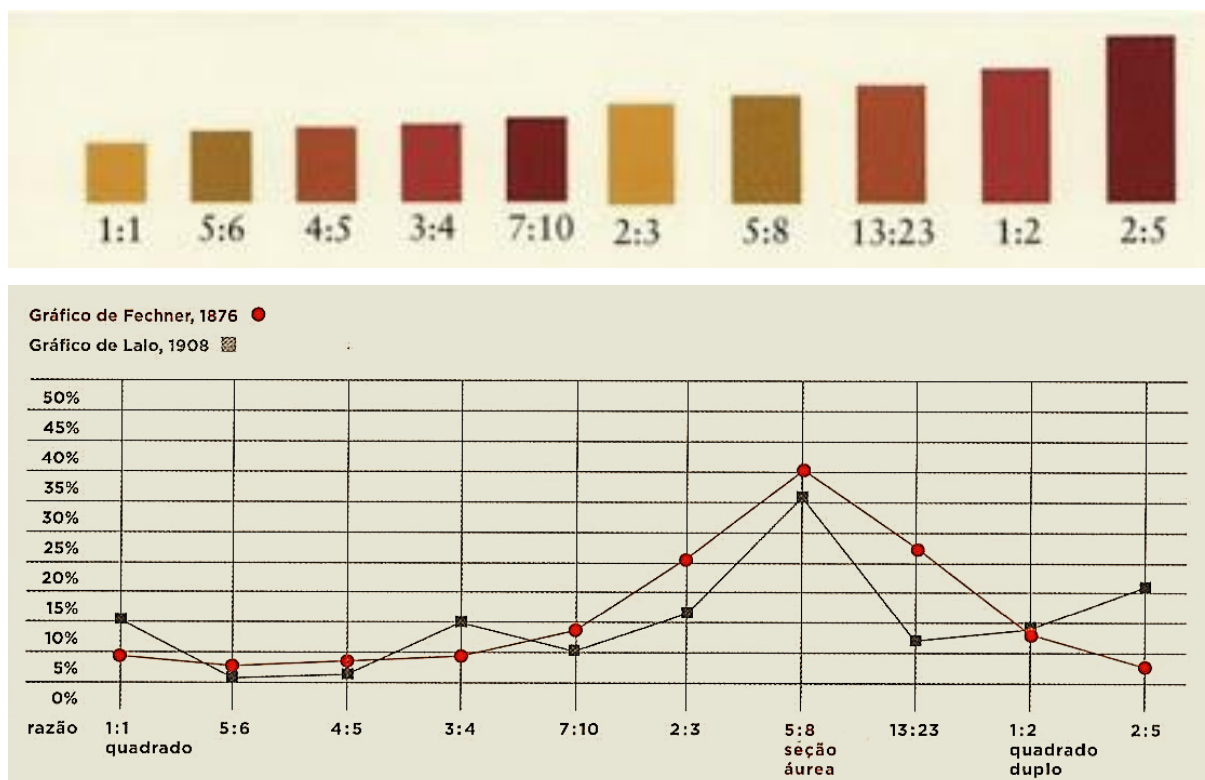


Figura 7 - Gráfico comparativo das preferências por retângulos, de Gustav Fechner e Charles Lalo. Fonte: ELAM, 2014, p.7.

O foco de Fechner se centrava na identificação do apelo visual de cada proporção ao senso estético individual, cujas formas selecionadas se referiam com muitos objetos e proporções presentes no cotidiano das pessoas, desde o formato das folhas de papel, livros, jornais até objetos, embalagens, prédios, etc.

Ao fazer um estudo baseado nas leis da física e biologia, Adrian Bejan (2009) demonstra que as formas que se assemelham a proporção dourada facilitam o escaneamento ocular de imagens e sua transmissão para o cérebro.

O secular fenômeno da razão áurea está ligado a velocidade de digitalização ou varredura das imagens pelos olhos e seu envio neurológico para o cérebro, ou seja, é físico e biológico. Esta operação está ligada a cognição, que neste processo repetitivo, cada vez mais automático e natural, é denominada de “lei constructal” ou lei construtiva (BEJAN, 2009). Esta teoria consegue aproximar o pensamento do design, da ciência e da arte.

O campo visual humano é semelhante ao gráfico da Figura 8, onde o R é a distância entre os olhos e a soma das duas visões formam a área binocular com largura $L \sim 3R$ e altura $H \sim 2R$. O retângulo aproximado que inclui a área binocular corresponde a dimensões de $l = 2.768r$ e $h = 1,876r$ e a razão entre elas $l/h = 1,475$, valor entre a razão do retângulo áureo ($l/h = 1,618$) e o retângulo raiz de 2 ($l/h = 1,414$).

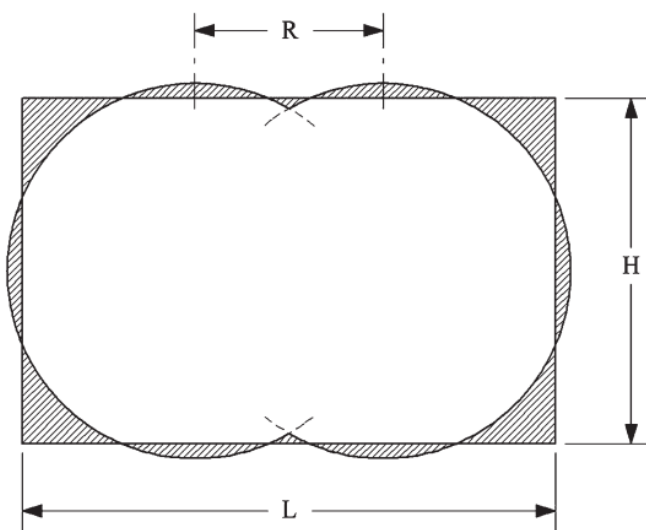


Figura 8 - A área binocular e sua aproximação retangular mais próxima, tem a forma $L / H \sim 1,47$, onde R é a distância entre olhos. Fonte: BEJAN, 2009, p.100.

O pesquisador Adrian Bejan afirma que toda arte com estética satisfatória está baseada na proporção áurea, e isso inclui as fachadas do templo da Sagrada Família, e ressalta que Gaudí foi um "equilibrista na linha que une arte e ciência" e considera que ele entendeu que o design da natureza é construído pelas leis da matemática e da física e, quanto mais leve, forte e inerentemente eficiente, tanto mais belo (BERLIN, 2010).

1.4. A geometria fractal

A expressão fractal, denominada pelo matemático Benoit B. Mandelbrot, é derivada do termo *fractus* em latim, que significa fragmentado e irregular. Com aplicabilidade em várias áreas da ciência, ele conseguiu estabelecer uma forma de medir a rugosidade de alguns padrões naturais. Ele lançou três livros entre 1975 e

1982⁶, explanando suas ideias que buscaram descrever matematicamente as irregularidades presentes na natureza.

Ele concluiu que a geometria euclidiana não é capaz de cumprir esta função na totalidade de seus fenômenos, criando a denominação 'dimensão fractal', que justamente se situa entre o zero e o três, sendo sempre fracionário, ou seja, entre as dimensões do ponto (0), linha (1), plano (2) e volume (3) de Euclides, respectivamente.

Com isso demonstrou que há um padrão de irregularidade que, repetido parametricamente, gera imagens complexas e infinitas. Afirmou também que na arquitetura alguns estilos têm propriedades formais similares às de fractais naturais.

Na arquitetura estas ideias provocaram eco, mas a teoria fractal foi aplicada mais largamente com relação às características internas ou processos de formação e não no seu rigorismo matemático (OSTWALD, 2006).

De uma forma mais intuitiva, os recursos da geometria foram utilizados para explicar as dimensões fractais e, o oposto, as suas dimensões usadas para explicar a geometria fractal. As opções para a reprodução de formas irregulares e padrões complexos, entre outras, se dá através de recursos como auto-similaridade, iteratividade e recursividade (SALA, 2006).

A auto-similaridade é uma característica pela qual um elemento contém cópias com diferentes escalas arbitrárias. Um exemplo clássico desta propriedade é o Triângulo de Sierpinski (Figura 9), criado em 1915. A figura parte de um triângulo equilátero, que se subdivide deixando o vão central vazio e apresenta a repetição recursiva desse processo.

⁶ *Les objets fractals, forme, hasard et dimension* (1975); *Fractals: Form, Chance and Dimension* (1977) e *The Fractal Geometry of Nature* (1982).

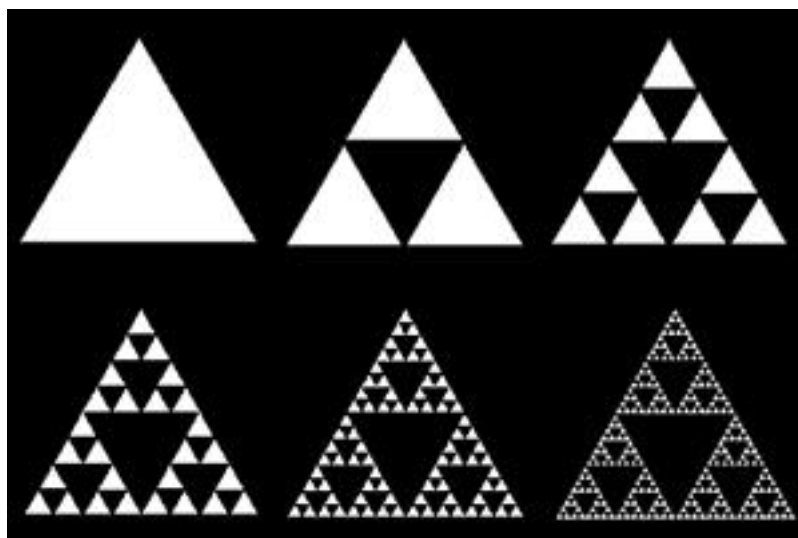


Figura 9 - Triângulo de Sierpinski, criado em 1915. Fonte: <<http://www.festivaldearte.fafcs.ufu.br/2004/comunicacoes-08.htm>>

A recursão já presente na figura anterior, é o procedimento que envolve a repetição de um dos passos do processo de maneira completa. De certa forma, estas características ficam visíveis no modo como o fractal é criado.

A iteração é um processo geracional de fractais. Quando a recursividade é aplicada, acontece uma iteração. A Figura 10 apresenta um exemplo de iteração até o 2o. nível. A realimentação é utilizar uma forma auto-similar como geradora, para alimentar o fractal continua e infinitamente.

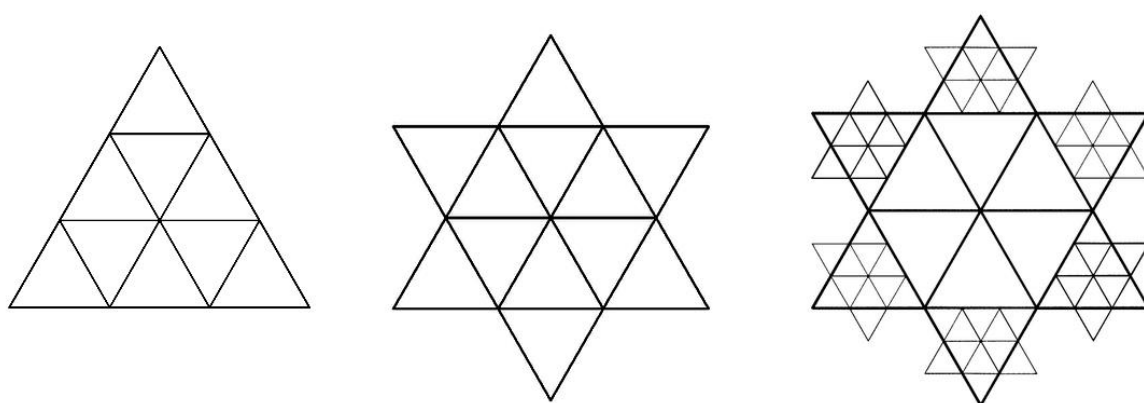


Figura 10 - Ilha de Von Koch até a 2ª. iteração. Fonte: <<http://matemafraica.com.br/wp-content/uploads/2016/06/matematica-fractais-013.jpg>>

Os processos recursivos podem incluir uma pequena alteração. A modificação pode ser no ângulo, no eixo ou na rotação, como na Figura 11, que apresenta a construção da Folha de Barnsley⁷, de Michael Barnsley.

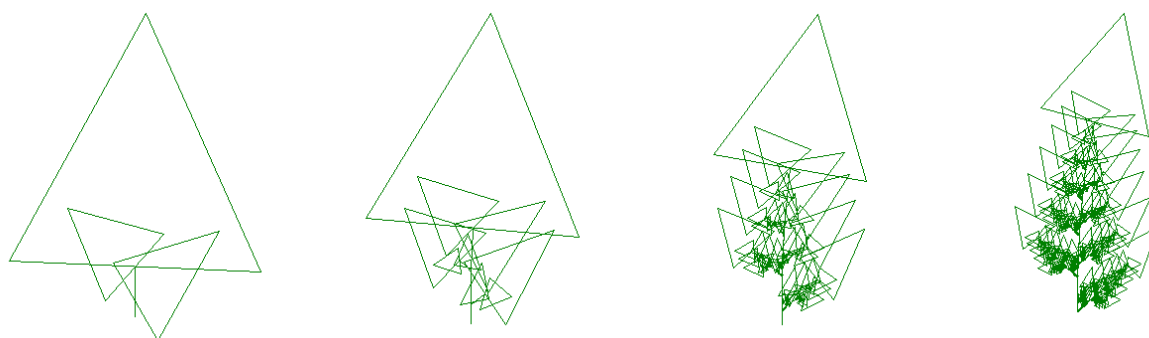


Figura 11 - Etapas da construção da Folha de Barnsley, por Eric Green, 1998. Fonte: <<http://goo.gl/05IBVF>>

A iteração dos fractais pode ocorrer com transformações de rotação, reflexão e translação, tornando-o mais complexo.

Pesquisas seguiram nesta área e subsidiaram estudos de várias áreas do conhecimento. Em obra recém lançada, Ostwald e Vaughan (2016), testam algumas hipóteses baseadas em cinco critérios ou argumentos específicos de arquitetura, criando medidas matemáticas e estatísticas para atestar a arquitetura fractal. Apesar de não se apresentar como um trabalho conclusivo na área, a obra tenta abarcar uma variedade de situações que corresponde à maioria dos casos existentes.

Algumas definições de arquitetura fractal seguem na derivação de propriedades geométricas, outras se identificam mais na linha da elaboração experiencial. A análise fractal pode ser utilizada para medir, analisar e comparar as propriedades geométricas e formais de objetos complexos.

A definição de arquitetura fractal pelo método do projeto, se utiliza de processos iterativos e recursivos, que ressaltam a auto-similaridade, além das variações de escala. Os padrões recursivos são caracterizados pela repetição formal e construção geométrica, são similares aos algoritmos de desenvolvimento fractal ou sistemas de função iterativa.

⁷ Michael Barnsley, *Fractals Everywhere*, da Academic Press.

Ostwald e Vaughan identificam que a geometria fractal “é um sistema que descreve as formas que são geradas a partir de regras de algoritmos precisos, infinitamente repetidos, enquanto que uma dimensão fractal é a medida de quanto um objeto é consistente, complexo ou texturizado” (2016: 27). Desta forma, se colocam resistentes ao que críticos tem chamado de arquitetura fractal.

Nessa mesma linha, Salingaros (2004) não só rejeita tais proposições, mas é altamente crítico sobre a afirmação de Jencks que Guggenheim de Gehry em Bilbao é auto-similar e, assim, fractal. Salingaros, argumenta que Jencks 'está fazendo mau uso da palavra "fractal" para significar "quebrado ou irregular" [e] ... aparentemente, perdeu a ideia central dos fractais, que é a sua recursividade gerando uma hierarquia aninhada de conexões internas (2004, p.47).

Porém, apesar da pouca disponibilidade de material gráfico de detalhamento técnico do projeto do Museu Guggenheim, pesquisa publicada recentemente buscou elementos e razões objetivas para, por meio da decomposição formal, tentar demonstrar graficamente as razões que explicam as qualidades ou características que lhe são atribuídas (BORDA e ROCHA, 2016). Estas demonstrações serão apresentadas ao final do segundo capítulo.

2. Metodologia

Este trabalho reúne em sua metodologia duas partes: revisão de literatura e análise de conteúdo. De acordo com Prodanov et al, 2013, este conjunto de procedimentos permite buscar um novo patamar de conhecimento.

A primeira parte desta revisão da literatura, buscou identificar o quanto tem sido explicitada em contextos científicos a problemática tratada neste estudo: em ser ou não ser um problema, o investimento no estudo das geometrias complexas e técnicas de representação, que dão suporte para o seu emprego, na formação em arquitetura.

Na segunda parte deste trabalho, a pesquisa baseia-se na análise textual e explora o método de pesquisa conhecido como "análise de conteúdo" (BARDIN, 2011). Tem o objetivo de identificar os processos geométricos, presentes nos discursos relativos aos processos projetuais relacionados a duas obras emblemáticas, o Templo Sagrada Família, de Antoni Gaudí, e o Museu Guggenheim de Bilbao, de Frank Gehry, que representaram mudanças de paradigmas na metodologia projetual, cada um ao seu tempo (ADDIS, 2009; COHEN, 2013; ARANTES, 2012).

O objetivo desta análise é de construir referenciais para a estruturação de discursos didáticos, que justifiquem a seleção de um repertório de arquitetura a ser abordado, junto ao estudo da geometria, em estágios iniciais de formação para a atividade projetual.

Esta parte do trabalho objetiva identificar a situação e as tendências da área de pesquisa e ensino de geometria, representação e projeto de arquitetura. Ao discorrer sobre estes trabalhos, foram identificados aspectos que representam as características de 'oportunidades' (O) e 'ameaças' (T) para o ensino da geometria complexa e tecnologias digitais no meio acadêmico, que serão apontadas para depois compor os aspectos do ambiente externo da matriz SWOT.

O material textual relacionado aos projetos apresentados foi selecionado e analisado refletindo seu conteúdo conceitual, a metodologia projetual e suas características geométricas especiais. Nessa parte do trabalho foi analisado um elenco de elementos internos ou específicos das obras, e foram classificados como

‘forças’ (**S**) ou ‘fraquezas’ (**W**), em função de seus potenciais didáticos. De igual maneira serão carregados para a análise na matriz SWOT.

Utilizando-se da identificação dos aspectos que compõe a análise SWOT, como ‘forças’ (**S**), ‘fraquezas’ (**W**), ‘oportunidades’ (**O**) e ‘ameaças’ (**T**) no desenvolver da revisão, ao final teremos material para fazer a análise na forma de matriz. Esta matriz se baseia na estrutura de cruzamento de elementos internos (forças e fraquezas) com o ambiente externo (oportunidades e ameaças).

De um lado, alimentado pela primeira parte desta investigação, identificaremos o ambiente externo ou o meio, onde estão as ‘oportunidades’ e as ‘ameaças’ para o ensino de geometria nos anos iniciais da formação em arquitetura. Na outra parte, baseado nos discursos produzidos para estas obras, extrairemos os elementos que serão internos a esta análise: os elementos encontrados serão tratados como ‘forças’ e ‘fraquezas’.

O cruzamento destes fatores tem a intenção auxiliar na definição de estratégias e diretrizes para a estruturação didática no campo da representação, geometria e projeto de arquitetura.

2.1. A revisão da literatura

Assim, a elaboração da presente revisão foi baseada nas etapas preconizadas na literatura (HIGGINS et al, 2011), são elas: a determinação das questões e objetivos da revisão da literatura; fixação dos critérios de inclusão e exclusão de artigos e demais documentos; definição das informações a serem extraídas dos materiais selecionados; análise de resultados; discussão e apresentação dos resultados; e, por fim, a apresentação da revisão.

As perguntas orientadoras da revisão integrativa constituíram-se em: Como o investimento em geometrias complexas está sendo tratado junto à estruturação do ensino/aprendizagem da prática projetual na academia? Existem discursos contrários a este investimento? Como devem ser estes discursos didáticos?

A seleção de artigos e trabalhos foi processada na forma de busca on-line nas bases de dados das revistas eletrônicas da FAUSP, FAU-USJT, ANTAC, Educação Gráfica e de anais das conferências Graphica - Simpósio Nacional de Geometria

Descritiva e Desenho Técnico (UFSC), PROJETAR - Seminário Nacional sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura (UFRN), Computers & Graphics - Elsevier, Design Studies, SIGRADI - Congresso da Sociedade Ibero Americana de Gráfica Digital e banco de teses da USP, UFRGS e UFBA.

Dessa forma, buscou-se ampliar o âmbito da pesquisa para minimizar os possíveis vieses nessa etapa do processo de elaboração do estudo. Para o levantamento dos artigos e teses nos bancos de dados, utilizaram-se os descritores controlados: Geometria, Processos projetuais, Ensino/Aprendizagem de desenho.

Os critérios de inclusão foram: Artigos e Teses completas disponíveis on-line e gratuitamente; Artigos que abordassem a temática proposta; publicações lançadas nos últimos 10 anos. Os critérios de exclusão dos estudos foram: Artigos que não abordassem a temática relevante ao alcance do objetivo da revisão integrativa, Monografias, Editoriais e Cartas ao editor.

Após o atendimento aos critérios de inclusão e exclusão, a amostra foi constituída de 21 trabalhos que envolvem questões didáticas na área da geometria e representação. Os trabalhos foram planilhados em ordem cronológica, identificando autores, local e ano de publicação, título do trabalho, objetivo principal e se contemplaram as perguntas abaixo na abordagem de sua pesquisa (ver Anexo I).

Os trabalhos pesquisados foram filtrados com as seguintes perguntas:

1. Explicita o propósito de abordar formas complexas a partir de estudos de caso?
2. Explicita o propósito de desenvolver a inteligência espacial?
3. Diferencia os estágios apropriados na formação p/ geometrias complexas?
4. Explicita o propósito de promoção ou restrição do uso de formas complexas junto ao processo formativo?
5. Constrói discursos integrados entre a área da geometria (tecnologias p/ controle das formas complexas) e a área de projeto?

A análise dos trabalhos participantes desta revisão foi realizada de maneira descritiva, com o objetivo de demonstrar um recorte do cenário das pesquisas produzidas nesta área da geometria como coadjuvante do ensino de projeto, permitindo a avaliação da revisão integrativa.

A verificação de adequabilidade para o tema em questão, permitiu a visualização do cenário atual destas práticas no meio acadêmico e, além disso, a identificação dos pontos positivos e negativos do ambiente externo, que para a análise SWOT foram identificados como oportunidades e ameaças.

Na Tabela 1 apresentamos a incidência destas questões na totalidade dos trabalhos selecionados. Verificamos que a construção de discursos integrados entre a área da geometria e a área de projeto aparece em mais de 75% dos trabalhos, assim como a preocupação com o desenvolvimento da inteligência espacial, ao passo que a observação entre os diferentes estágios para apresentar a formação para as geometrias complexas é o ponto que menos apareceu.

Tabela 1: Pertinência das questões na amostra de trabalhos selecionados.

1	Explicita o propósito de abordar formas complexas a partir de estudos de caso?	52%
2	O estudo explicita o propósito de desenvolver a inteligência espacial com a pesquisa?	76%
3	Diferencia estágios apropriados de formação p/ geometrias complexas?	33%
4	Explicita o propósito de promoção ou restrição do uso de formas complexas junto ao processo formativo?	57%
5	Constrói discursos integrados entre a área da geometria (tecnologias p/ controle das formas complexas) e a área de projeto?	81%

Entre as formas convencionais e digitais de desenhar, Celani e Righi discutem as alterações e as interferências das grandes mudanças na metodologia das práticas profissionais e no ensino de projeto (T), que o desenvolvimento tecnológico provoca. Seu trabalho demonstra a necessidade de proposição de métodos de projeto que utilizem, de forma mais apropriada, os meios digitais de produção e representação, evitando perdas reais nas intenções das propostas originais com os processos de simplificação digital (T) (CELANI e RIGHI, 2008).

Já W. Florio (2014) contribui na discussão sobre a análise de projetos através de tecnologias digitais. A experiência em sala de aula tem demonstrado que, ao estudar obras relevantes de arquitetura através de modelos geométricos digitais,

pontos como a estética, a relação com o entorno imediato, a técnica construtiva e demais características do edifício podem ser analisados com mais propriedade e clareza (O).

A interpretação das obras de referência escolhidas, através dos estudos tridimensionais digitais, enriquece a análise dos projetos (O), explicitando outras características e qualidades das mesmas, além dos aspectos críticos da teoria e da história. A modelagem digital torna-se mais ativa e consistente para os alunos (O), pelo amplo entendimento do funcionamento dos componentes do projeto, ampliação da visualização do espaço concebido, bem como a percepção e as sensações de conforto do usuário, fornecendo subsídios importantes para suas análises e, conseqüentemente, fortalecendo a tomada de decisões mais consciente e precisa (FLORIO, 2014).

Atualmente, nos cursos de arquitetura, as disciplinas de projeto são consideradas como um eixo condutor, apoiando-se ainda em recursos clássicos e tradicionais, apesar das mudanças culturais e do desenvolvimento tecnológico (T).

Lacombe (2007) questiona o método de ensino de projeto que se apoia na tradição clássica e sugere que seu tripé, função, estrutura e ordem, seja transformado para a tríade dinâmica relação, sistema, organização, onde a lógica relacional, que configura o espaço, permita uma organização passível de transformação, onde o projeto não mais se ordena, mas sim, se processa como possibilidade da arquitetura (T).

Este novo paradigma utiliza-se do desenho como parte do raciocínio do espaço, estabelecendo relações, testando e experimentando, se transformando no processo de projetar. Para a experimentação no ensino do projeto como descoberta, as estratégias básicas se resumem em: basear seus pontos de partida em proposições simples e questões com múltiplas representações e soluções (T); adotar estratégias espaciais para seu desenvolvimento, buscando a materialidade construtiva; entender a dinâmica relacional do projeto (LACOMBE, 2007).

Neste panorama do ensino de arquitetura, Florio (2011) reflete sobre a desconexão entre as várias disciplinas e a incorporação de novos conhecimentos sem reflexão e crítica adequados (T). A produção de arquitetura, mais do que nunca,

utiliza-se da tecnologia e do artesanal para a plena percepção do espaço, baseada nos conhecimentos da geometria para a produção de espaços mais complexos (○).

As novas tecnologias digitais têm auxiliado no desenvolvimento de formas mais complexas (T), com especial atenção para a manipulação topológica dos elementos geométricos no espaço (T). Do ponto de vista do ensino-aprendizagem, é importante destacar que para o estudante apreender conhecimentos e experiências, de um modo criativo, ou seja, combinando de forma original as ideias já conhecidas, o educador deve conduzir os procedimentos em seus encontros de formas a estimular a prática com liberdade de escolha, sem julgamentos prévios, mas com reflexão crítica (○) (FLORIO, 2011).

Ainda segundo Florio (2011), a aquisição de conhecimentos deve ocorrer tanto pela transmissão, método tradicional, como pela reflexão, através da inovação, fazendo com que o pensamento criativo e o crítico sejam inseparáveis (○). Assim, o ensino-aprendizagem de projeto e disciplinas práticas deve trabalhar com questões desconhecidas, que necessitem de pesquisa, novos conhecimentos e reflexão crítica e não apenas privilegiar o repasse de atividades que limitem o exercício a uma solução qualquer de um problema conhecido (T).

O aluno trabalha combinando elementos contidos em seu repertório e, integrar adequadamente o pensamento criativo e a visão crítica, vai depender da disposição do professor para debater e explorar os seus diferentes aspectos (○). No início do curso, alunos tem a tendência de identificarem apenas algumas características no âmbito formal, onde a sedução pela forma se sobressai (T). Isto já não acontece com alunos de semestres mais avançados, quando a base conceitual está mais sólida e já compartilham aspectos estruturais, materiais, funcionais e técnico construtivos (○) (FLORIO 2011).

A prática de projeto, ou ainda, a prática do ensino de projeto baseado em exemplos, evidências, modelos e obras de referência, traduz-se numa das práticas mais utilizadas, tanto no meio acadêmico, como nos escritórios de projeto. O rigor na prática da criação do ambiente construído baseado no conhecimento anterior, colabora muito com o compartilhamento de conhecimentos entre professor e aluno (○), entre cliente e profissional (HAMILTON, 2008).

Projeto baseado em evidências permite que as partes otimizem decisões de projeto através de um processo de identificação, análise, avaliação e aplicação das melhores soluções atuais de pesquisa e prática. Este processo possibilita o surgimento de ambientes de alto desempenho, unindo a ampla variedade de exemplares para pesquisa, possibilidade de colaborações importantes através de análises mais avançadas, a utilização do pensamento crítico para interpretação e uma conexão importante entre os resultados da investigação e os processos investigação (○) (HAMILTON, 2008)

Trabalhar com análise de exemplares, buscando por adaptação, reestruturação e reformulação, identificando seus processos de tipificação e generalização, pode proporcionar um conhecimento difundido e estruturado (○). É requerido um processo de raciocínio baseado na memória inovadora e criativa da rotina do projeto. Este trabalho se utiliza de elementos como organização da memória, raciocínio analógico, processamento mecânico são importantes para estas análises baseadas no conhecimento (OXMAN, 1999).

O redesenho, continua Rivka Oxman (1999), é uma estratégia para uso consciente, explícito e acertado das melhores evidências de pesquisa e prática, que auxilia na tomada de decisões críticas (○). É um enunciado de características que reúne o conteúdo melhor conhecimento disponível para auxiliar nas decisões de projeto, ele ensina as lições de seu exemplar.

É importante destacar que as experiências bem-sucedidas, que Wilson Florio (2011) relatou, do ponto de vista do ensino-aprendizagem, mostram uma combinação de ideias novas para cenários já conhecidos, possibilitando ao estudante um leque de experiências que vão estimular sua criatividade, senso crítico e inteligência espacial. Necessário destacar que, para o estudante apreender novos conhecimentos e experiências, de um modo criativo, ou seja, combinando de forma original as ideias já conhecidas e desconhecidas, o educador tem o papel de transmitir os conhecimentos estimulando-os à experimentação com liberdade de escolha e reflexão, unindo o pensamento criativo e o crítico.

A combinação de elementos próprios do seu repertório com criatividade e visão crítica, apoiado pelo debate orientado pelo professor, tendem a produzir bons resultados nos ateliers. Nas fases iniciais do curso, os estudantes deixam-se levar

mais pelos apelos formais, enquanto que os alunos mais adiantados já encontram um terreno mais fértil, fazendo interações com aspectos materiais e estruturais, funcionais entre outros (FLORIO 2011).

Dentro desta dinâmica o uso dos projetos propostos no trabalho de pesquisa, os estudos de Rivka Oxman (1999) e de W. Florio (2014) também, parece se justificar quando identificamos a riqueza de situações promovidas desde o lançamento das propostas, passando pelos estudos de variáveis e alternativas até conseguirem alcançar o ponto de excelência que possibilitou a execução de suas obras.

Estes trabalhos, acompanhados de uma reflexão crítica pertinente, são ricos campos de estudo, tanto se nos focamos em setores ou detalhes como também se olharmos para o todo, o conjunto, o lugar e o efeito que proporciona e provoca nos seus usuários. Percebemos que possibilitam uma análise completa de aspectos que vão desde a inovação frente ao status da época, como apresentando novas formas de olhar a arquitetura, seus processos, suas variáveis compositivas, suas relações paramétricas, possibilitando o entendimento da origem dos processos digitais e generativos, ampliando a contribuição para o desenvolvimento do ensino da arquitetura através da análise de seus processos projetivos (OXMAN, 1999 e FLORIO, 2014).

2.2. Análise dos discursos publicados sobre as obras

A análise de projetos precedentes é uma prática comum nos cursos de arquitetura. A escolha pelos projetos do Templo da Sagrada Família de Barcelona - Antoni Gaudí, e do Museu Guggenheim de Bilbao - Frank Gehry, é justificada pelo fato destes trabalhos representarem marcos importantes no desenvolvimento da arquitetura, representando momentos de rompimento com os padrões anteriores, são projetos polêmicos e também objetos de várias pesquisas em busca de seus processos, suas variáveis compositivas, suas relações paramétricas, possibilitando um link com as novas tecnologias e como estas podem contribuir com o desenvolvimento do ensino da arquitetura através da análise de seus processos projetivos.

2.2.1. O extrato geométrico do Templo da Sagrada Família

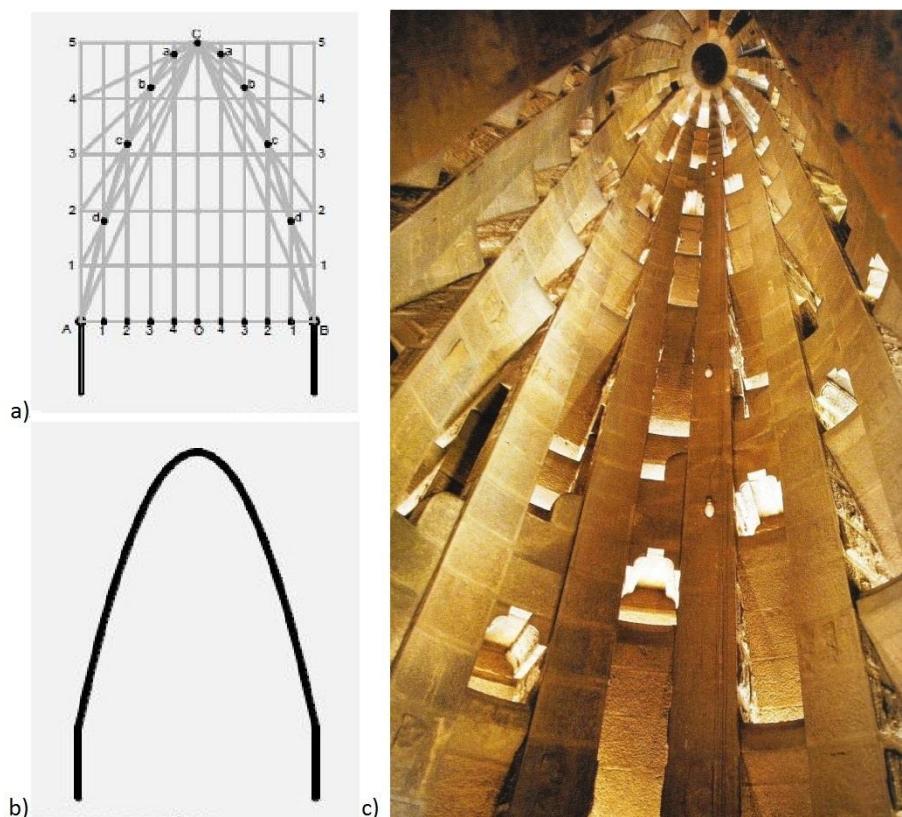


Figura 12 - a) e b) Arco parabólico e sua construção geométrica; c) Interior de uma das torres, mostrando a estrutura que explora em três dimensões os arcos parabólicos catenários. Fonte: a) e b) <<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24086/706-TFM-479.pdf>>; c) Adam Woolfitt in CARMEL-ARTHUR, 2000, p. 40.

Na Europa, e mais exatamente em Barcelona, os ares do século XX chegaram exigindo mudanças. Gaudí recebe a responsabilidade de continuar as obras do Templo da Sagrada Família, iniciada por Francisco del Villar, e promove alterações no projeto inicial. As experiências na Colônia Güell com as cargas atuantes e a exploração tridimensional das curvas catenárias em seus arcos parabólicos (Figuras 12a e 12b), lhe deram respaldo para trabalhar com novos materiais e formas, que foram posterior e amplamente exploradas no Templo da Sagrada Família (Figura 12c).

Com o reconhecimento local do seu trabalho, no início do século, Gaudí ganha mais confiança e isso o leva a evoluir seu trabalho com o uso de croquis e modelos tridimensionais. Estes recursos, que se apresentavam como a via mais simples para suas composições, também foram grandes catalisadores no seu processo criativo (S).

Seu gênio prosperou e inspirou os trabalhos em equipe. Sua inteligência e sagacidade nos ajuda a desfrutar de suas obras também nos dias de hoje. E, por fim,

sua criatividade o sustentou durante o longo processo de trabalho envolvido em cada projeto.

Apesar de David Mackey (in EMANUEL, 1980) considerar que Gaudí falhou em não consolidar uma prática arquitetônica viável para seus companheiros, atualmente sabe-se que o planejamento da Sagrada Família foi elaborado exaustiva e detalhadamente, dentro de um método específico (S), criado para esta obra, permitindo que os seguidores consigam desvendar e interpretar suas decisões compositivas através da complexa, mas exata, geometrização utilizada por ele (BURRY et al, 1996).

Na reedição do livro Gaudí, o homem e a obra, Maria Antonietta Cripa, professora de História da Arquitetura na Universidade Politécnica de Milão, identifica que, logo depois da segunda guerra mundial, a obra de Gaudí começa a ganhar destaque e se torna o centro de atenção de vários arquitetos e da crítica, como portador de possibilidades expressivas, até então, inocentes ou ideologicamente criticadas (BERGÓS et al, 2011, p.13). Paradoxalmente, é grande a oscilação das análises da obra de Gaudí pela crítica da arquitetura contemporânea (W).

Até o final de 1898, Gaudí ainda utilizou o estilo neogótico no desenvolvimento da cripta e da capela mor do templo (Figura 13), bem como suas técnicas construtivas, visto que esta parte da obra já estava parcialmente construída. Porém, as superfícies regradadas já utilizadas na capela da Colônia Güell, virão compor as abóbodas da nave

principal e das naves laterais do templo, nos seus novos desenvolvimentos (BURRY et al, 1996).



Figura 13 - Vista do teto da capela mor (ábside) no interior do Templo da Sagrada Família e algumas composições de paraboloides hiperbólicos, provocando uma apoteótica entrada de luz, valorizada ainda mais pelos filetes dourados. Foto: Marc Llimargas. Fonte: BERGÓS et al, 2011.

O uso das superfícies regradas por Gaudí, revela composições que relacionam as partes de forma simples, sejam os componentes de uma abóboda, a união das colunas com as abóbodas ou as peças que compõe os ‘*ventanais*’ ou janelas vitrais. Uma mescla que permitiu que projetasse volumes com dupla curvatura, ou simplesmente, planos deformados (Figura 14).

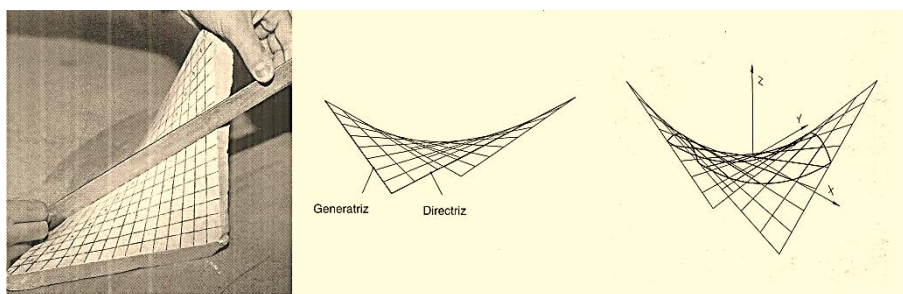


Figura 14 - Construção de um parabolóide em gesso e a vista de seu modelo aramado e a geometria de uma superfície de dupla curvatura. Fonte: BURRY, 1996, p. 73.

Partindo da análise das maquetes de gesso deixadas por ele, foi possível descrever as suas composições com o auxílio do CAD. No caso das abóbodas da nave central do Templo Sagrada Família, com um trabalho mais elaborado, como se pode ver na Figura 15, a construção do módulo básico que formará o teto principal do templo. No primeiro desenho vê-se a composição de quatro hiperboloides de variados raios, para acomodar a chegada dos pilares em ângulo. No segundo, a localização dos setores dos hiperboloides em planta, formando o módulo de 3,75m de base quadrada.

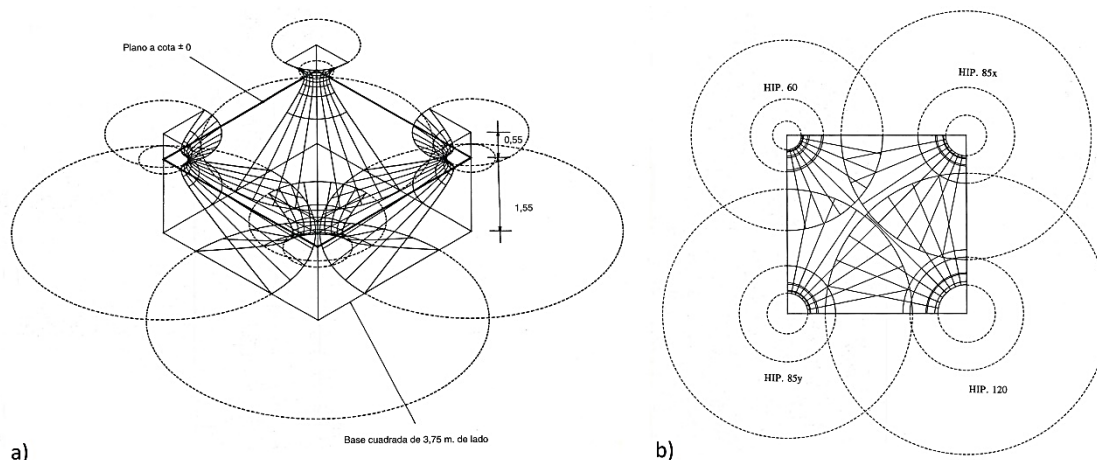


Figura 15 - a) Elevação tridimensional da composição de hiperboloides no módulo do teto; b) a planta-baixa do módulo de 3,75m de lado. Fonte: BURRY, 1996, p.138.

A mescla de hiperboloides, paraboloides e suas combinações, levou a exploração, através da combinação e geração de linhas retas (S), de soluções peculiares para desenvolvimento de seus trabalhos (BURRY et al, 1996). Como veremos na Figura 16 a elaboração do módulo básico, apoiado por uma coluna, e a composição de quatro módulos resultantes, que serão apoiados pelas quatro colunas ramificadas e repetidas ao longo das naves laterais.

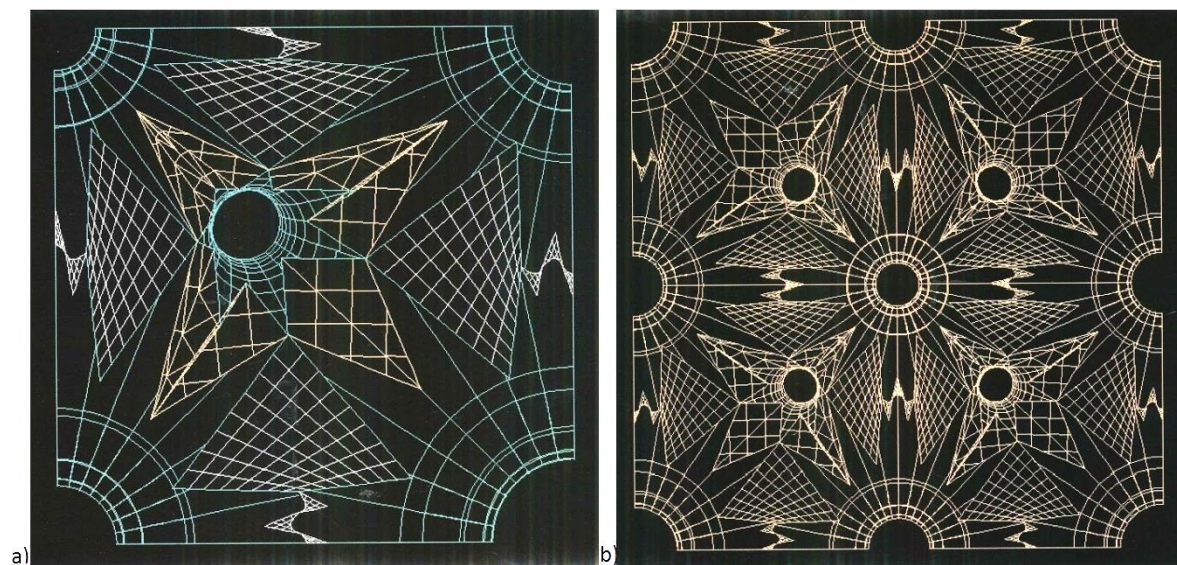


Figura 16 - a) Construção do módulo básico do teto principal do Templo, a partir dos hiperboloides e paraboloides; b) A composição de quatro módulos básicos, apoiados por uma coluna. Fonte: BURRY et al, 1996, p. 153 e 154.

O capitel, na base do módulo da Figura 16 apresentada anteriormente, se apresenta na forma de um hiperboloide côncavo, ver esquema na Figura 17. O ajuste da inclinação da coluna e seu capitel com o módulo do teto é facilitada pela utilização da análise geométrica do CAD, reduzindo consideravelmente o uso de dados numéricos.

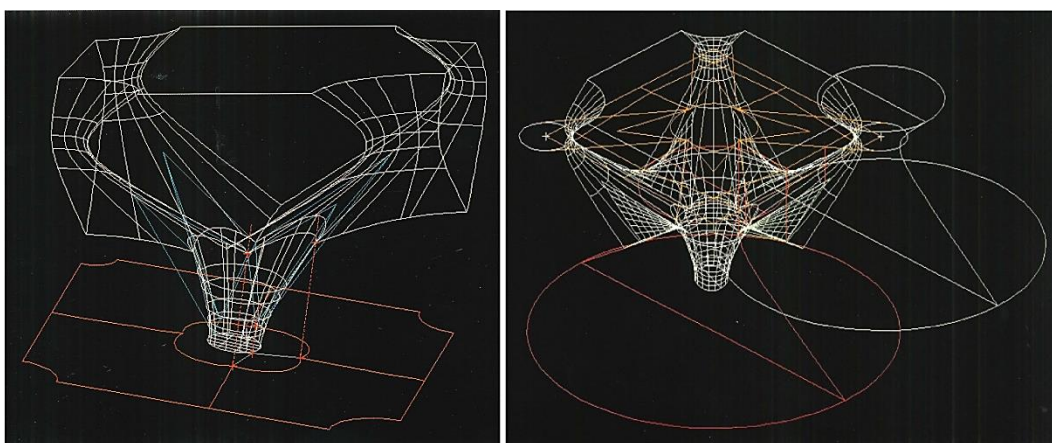


Figura 17 - A chegada do capitel hiperboloide côncavo na composição de hiperboloides do teto. Fonte: BURRY, 1996, p. 151.

É na Sagrada Família que todo o processo de desenvolvimento do desenho e também as técnicas construtivas de Gaudí podem ser apreciadas (BURRY et al, 1996):

Las bóvedas las quiero hacer paraboloides hiperbólicas por muchas razones. Es un magnífico signo de la Santísima Trinidad, porque son dos generatrices rectas, e infinitas, y una tercera generatriz, también recta e infinita, que se apoya sobre las otras dos. El Padre y el Hijo relacionados por el Espíritu Santo; los tres igualmente infinitos, los tres un sola cosa. (BERGÓS et al, 2011, p.289)

Com essa declaração, Gaudí justifica a criação de suas abóbadas (Figura 18). As junções são feitas através cortes que coincidem ou com as linhas geratrizes ou com as diretrizes, sempre comuns aos hiperboloides e aos paraboloides. E é justamente por estas linhas retas que se fazem as concordâncias e a fluidez das suas complexas composições geométricas.

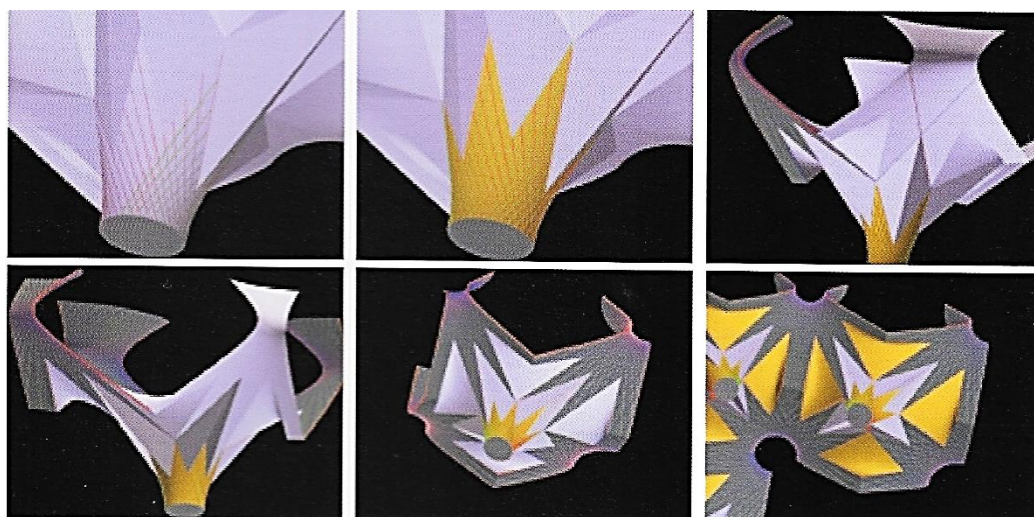


Figura 18 - Sequência geométrica de imagens de hiperboloides de uma folha de revolução para a geração das abóbadas do teto das naves laterais. Fonte: ALSINA, 2004, p.178.

As superfícies regradas podem ser consideradas o principal componente de uma definição particular de matemática do espaço, diz Mark Burry. Elas derivam do movimento regrado de uma linha reta no espaço, através de outras guias retas ou curvilíneas. Em seu artigo ele denomina Gaudí, bem como Vladimir Shukhov e Félix Candela, de artistas estruturais. Gaudí se apoderou destas propriedades geométricas e criou, no teto do Templo, um trabalho que reúne a simplicidade geométrica, por que as superfícies não são matematicamente complexas, e a sofisticação com seus efeitos visuais, lumínicos e acústicos (BURRY, 2011).

Na figura (Figura 19) o diagrama indica a mistura heterogênea da geometria das superfícies regradas que Gaudí usou exclusivamente como solução no Templo da Sagrada Família para as abóbodas do teto e janelas.

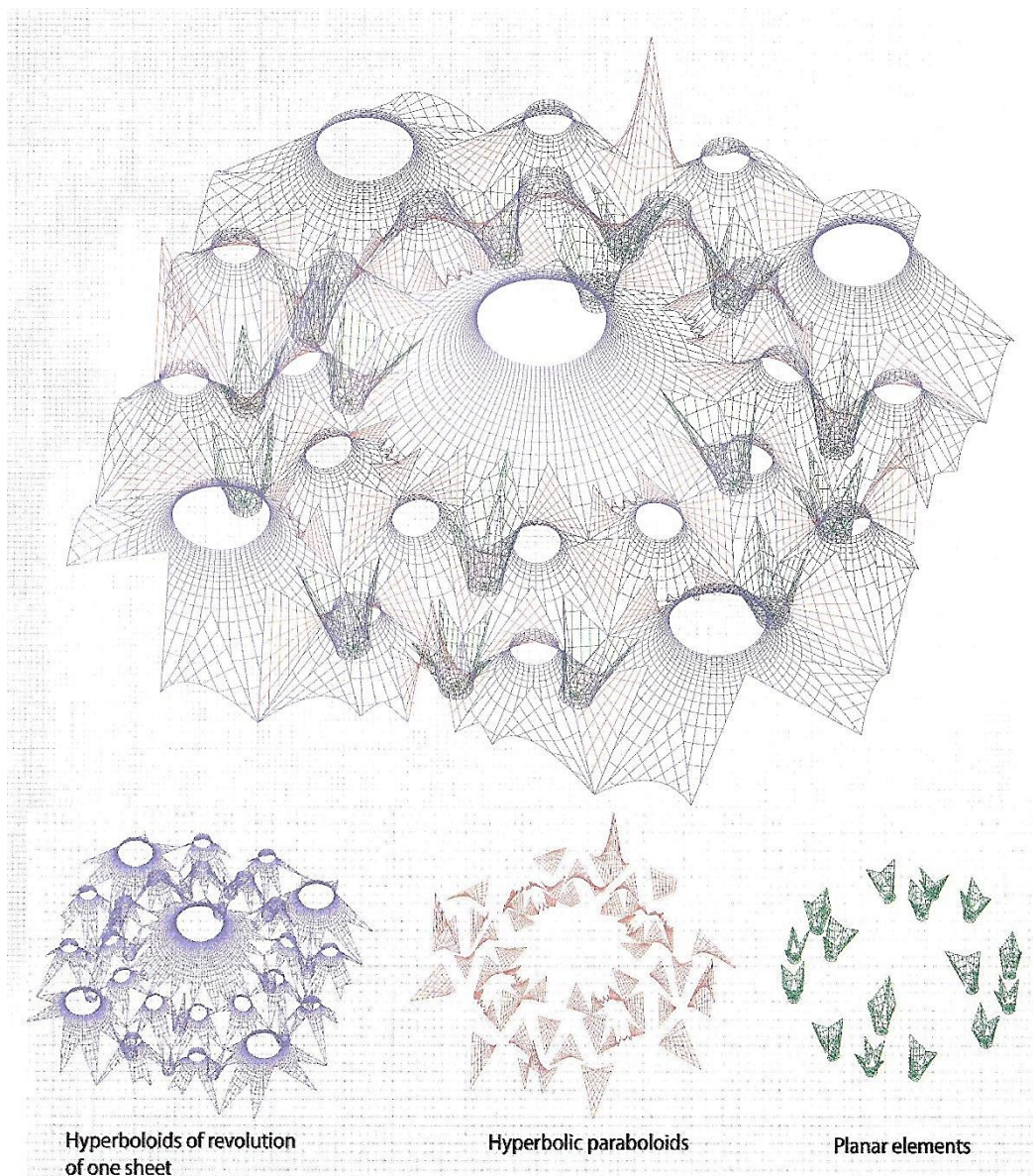


Figura 19 - Diagrama que indica a geometria heterogênea das três superfícies de dupla curvatura utilizadas nas abóbodas do teto da Sagrada Família: hiperboloides de revolução de uma folha, paraboloides hiperbólicos e elementos planares. Fonte: BERRY 2011, p.84.

Gaudí produziu os modelos em gesso das abóbodas construindo com as paraboloides hiperbólicas e hiperboloides que, sendo sua forma preferida, tornaram-se peças fundamentais na elaboração do teto do templo (Figura 20).

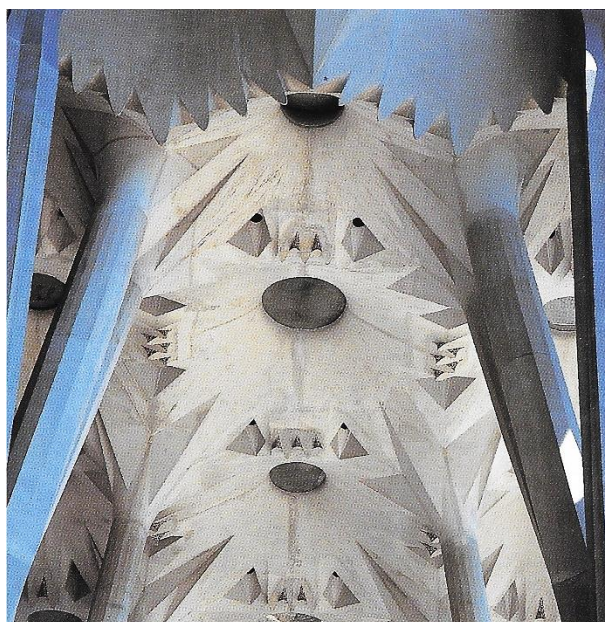


Figura 20 - Detalhe de um hiperboloide de uma folha na nave central do Templo Sagrada Família.
Fonte: ALSINA, 2004, p. 179.

Ele trabalhou nas abóbodas com hiperboloides côncavas. Estas, por sua vez, se ligam às colunas com capiteis de hiperboloides convexas através de paraboloides, permitindo uma composição formal que possibilita a propagação da luz para o interior do templo (Figura 21). Também inovou técnica e esteticamente, quando concebeu sua estrutura com colunas de formas inclinadas e ramificadas, seguindo a lógica natural das árvores. Utilizando-se de uma subdivisão modular, conseguiu reduzir as cargas de tração e o modo de sustentá-las, substituindo o uso dos tradicionais contrafortes góticos por colunas mais esbeltas.

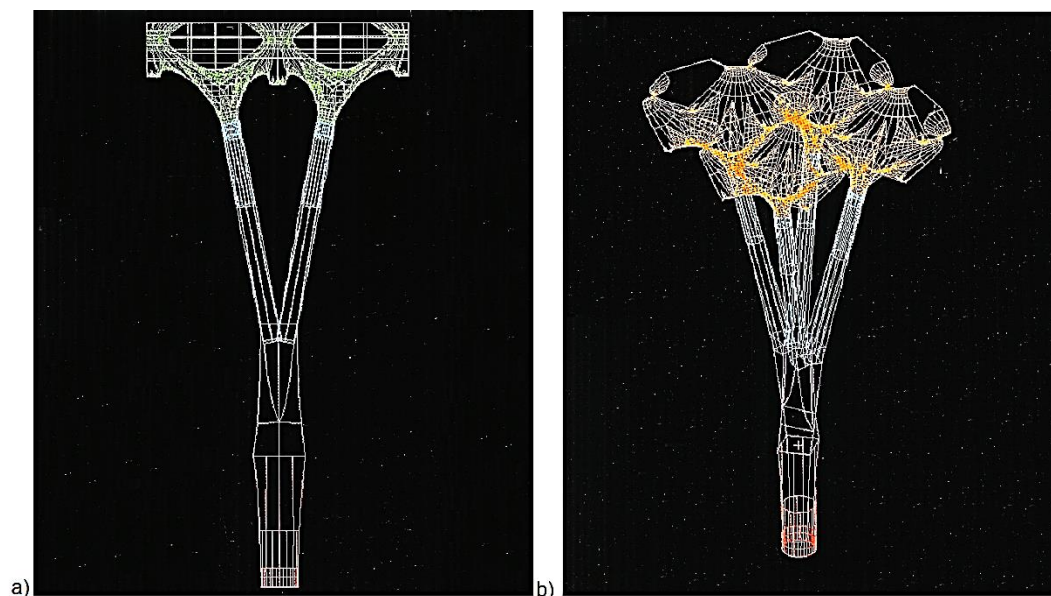


Figura 21 - a) Vista do conjunto de colunas ramificadas que apoiam os 4 módulos do teto; b) 3D do conjunto de colunas e quatro módulos do teto. Fonte: BURRY, 1996, p.156.

A composição e distribuição das colunas no projeto correspondem à determinada hierarquia que as agrupava segundo a espacialidade cerimonial do templo e conforme seus carregamentos.

Além disso, com o uso das proporcionais e repetidas divisões dos seus elementos estruturais (Figura 22), este trabalho pode ser considerado um dos precursores do que, nos dias de hoje, é chamado geometria fractal na arquitetura (PLAZA et al, 2014). Segundo Mark Burry, com o estágio avançado da obra, este é o momento para se discutir sobre a interpretação geométrica de seus componentes, neste complexo trabalho de aplicação de superfícies regradas (S), com a utilização criteriosa e precisa dos recursos de alta tecnologia para a construção do templo (BURRY et al, 1996). Uma coisa não teria ocorrido sem a outra. A potente complexidade geométrica do trabalho de Gaudí, produzida há cerca de um século, alinhou-se com as possibilidades da técnica digital atual, por terem origem na mesma base precisa da geometria complexa e nas leis fundamentais da construção da própria natureza.

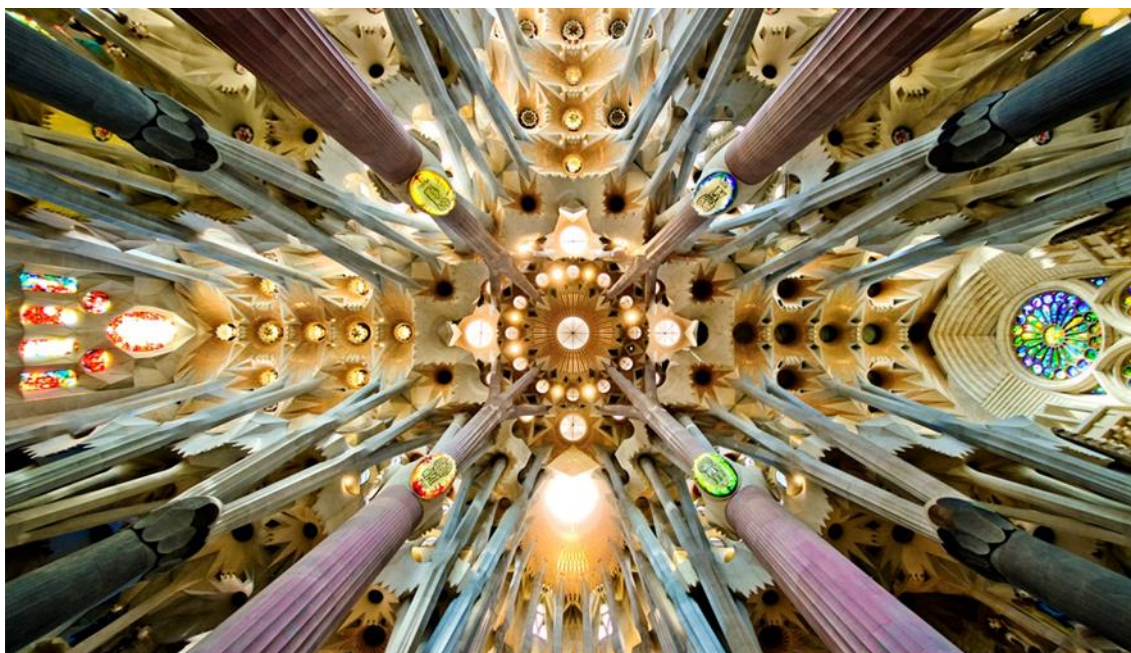


Figura 22 - Visão da nave central do templo com suas abóbodas iluminadas pela luz solar, demonstrando as ligações estreladas dos hiperboloides que permitem a passagem da luz e também a característica fractal de sua proposta. Fonte: Disponível em: <<http://www.paispaissano.com/wp-content/uploads/2014/12/Sagrada-familia-gaudi.jpg>>. Acesso em: março de 2016.

Apesar de todo o intrincamento técnico, Gaudí demonstrava em seu atelier aos alunos visitantes, segundo Cesar Martinell Brunet, que para fazer suas abóbodas eram necessárias apenas duas réguas e um fio, tal qual uma parede. Porém, estas resultariam em linhas alabeadas, ou seja, que não são nem paralelas, nem se interceptam no espaço. Desta maneira apresentava o paraboloide hiperbólico, feito de sarrafos e linhas que, ao se projetar luz sobre ele, poderia produzir linhas paralelas ou radiais, dependendo de sua disposição e localização do foco iluminado. Ele defendia que esta superfície é a *“síntese de toda a geometria, e que tudo sai do paraboloide hiperbólico”* (MARTINELL, 1969, p.40).

O sistema de geração das colunas é semelhante em todos os tipos de colunas desenvolvidas no templo (Figura 23), podendo variar o tamanho e o polígono da base dependendo de sua posição, carregamento e altura (BURRY et al, 1996).

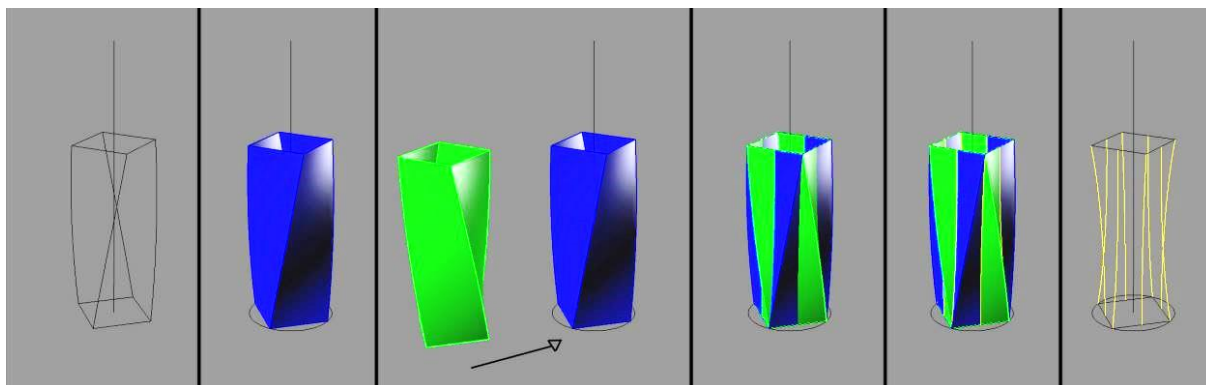


Figura 23 - Princípio do projeto do elemento helicoidal de duplo giro, utilizado por Gaudí para a confecção das colunas. Na base se identifica com a coluna salomônica, porém cria uma “nova ordem” ao sobrepor dois volumes com giros opostos entre si. Fonte: <<http://www.tdx.cat/handle/10803/9330>>

Gaudí considerava a “forma resultante” de sua coluna de dupla geração helicoidal como uma síntese ou “*é o resumo de todas as colunas que existiram: egípcias, gregas, românicas, góticas, renascentistas, salomônicas...*” (MARTINELL, 1969, p.86). Até a publicação da obra de Martinell, a geração das colunas ainda permanecia oculta. Posteriormente, com os trabalhos apoiados pelas tecnologias CAD (Figura 24), o método construtivo pode ser desvendado (BURRY et al, 1996).

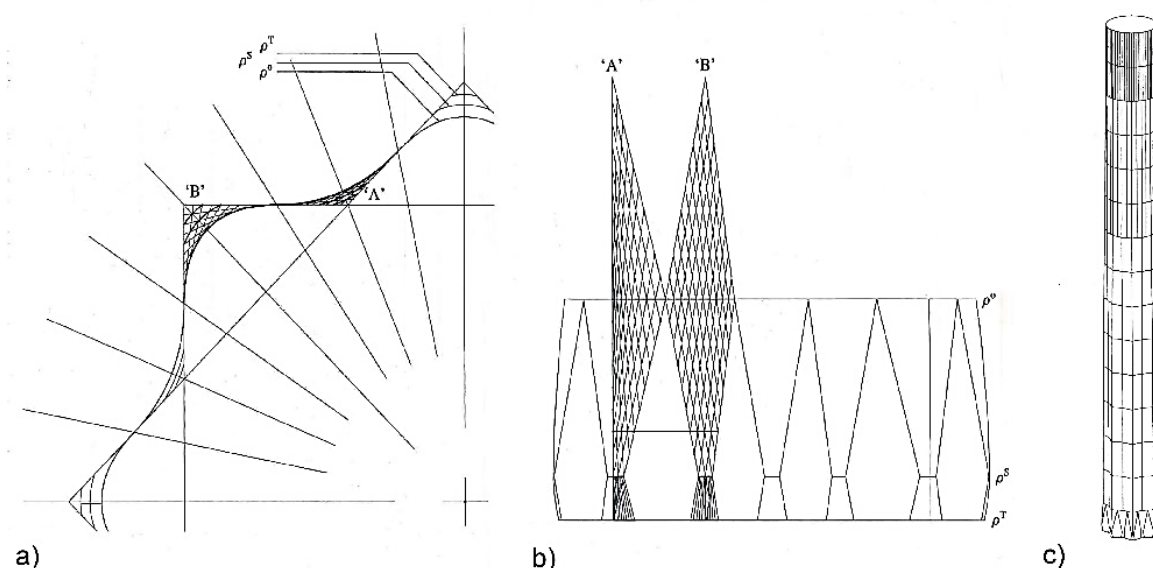


Figura 24 - a) Detalhe da planta da "coluna de 8" ao nível da base (ρ^0); b) Vista isométrica da base da coluna; c) Vista do modelo aramado da "coluna de 8" desde a base (ρ^0); até 14m (ρ^{14}). Fonte: BURRY, 1996, p.119.

As colunas se apresentam com a característica de duplo giro bidirecional, o que promove sua geração volumétrica de um jeito mais próximo ao crescimento das formas naturais, e se constitui como um “maravilhoso exercício de ginástica conceitual que aproveita as vantagens das superfícies regradadas” (S) (BURRY et al, 1996, p.108). Como o projeto de suas colunas é original, elas foram denominadas como “coluna de

6", "coluna de 8", "coluna de 10" e "coluna de 12" e fazem referência direta à forma poligonal que compõe a base da mesma e é determinante para a sua geração geométrica. Na Figura 25 é possível ver alguns detalhes da representação da "coluna de 8". Ela é baseada na revolução de um polígono de 8 lados, apresentada em várias seções de corte na base e nas alturas de 1, 8, 9, 12, 13 e 14 metros de distância da base.

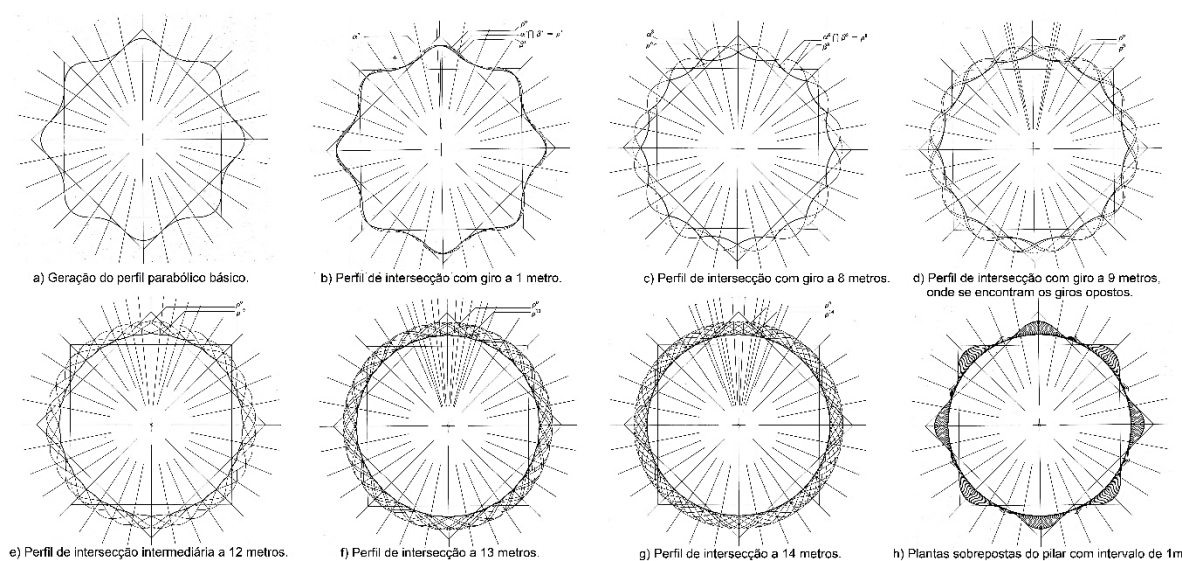


Figura 25 - Desenvolvimento das várias plantas da coluna 8, em suas principais seções horizontais. Fonte: BURRY, 1996, p. 115 a 118.

Na última década de sua vida, Gaudí tratou de criar um sistema orientador do trabalho que fosse, acima de tudo, acessível a toda sua equipe. Para isso utilizou amplamente a geometria, através das superfícies regradas e trabalhou com maquetes em gesso para visualização. Este método, criado por Gaudí, prevê a possibilidade de decomposição da forma final em partes. A montagem se dá pela união ou intersecção das diversas superfícies geométricas regradas através de suas diretrizes ou de suas geratrizes.

As atuais equipes, hoje empenhadas na conclusão desta obra, utilizam as maquetes para decifrar seu sistema e ainda contam com a tecnologia CAD para visualização e ajustes. A profusão de hiperboloides nas fachadas se complementa com as intersecções com paraboloides parabólicos e as misturas dos hiperboloides circulares com os elípticos (Figura 26). Os nós verticais, que unem a base às ramificações das colunas, associam entre si estas mesclas de superfícies de

revolução formando peças tridimensionais. Entre estas superfícies e algumas das geratrizes, surgem também os planos biselados⁸ para o acabamento.

Hemos de ser sintéticos. Síntesis hay de diferentes grados. Una línea es una síntesis, una superficie también (síntesis más general), y un volumen también (más general todavía). Un volumen está comprendido por las superficies regladas que, consideradas de generatrices infinitas, abrazan todo el espacio infinito. Estas superficies, que són el paraboloide, el hiperboloide y el helicoide, tienen las tres la misma “estructura atómica”, o sea el tetraedro, que se contiene en las tres citadas superficies. El tetraedro es la síntesis del espacio. El hiperboloide representa la luz y el helicoide el movimiento”. (BERGÓS et al, 2011, p.292)

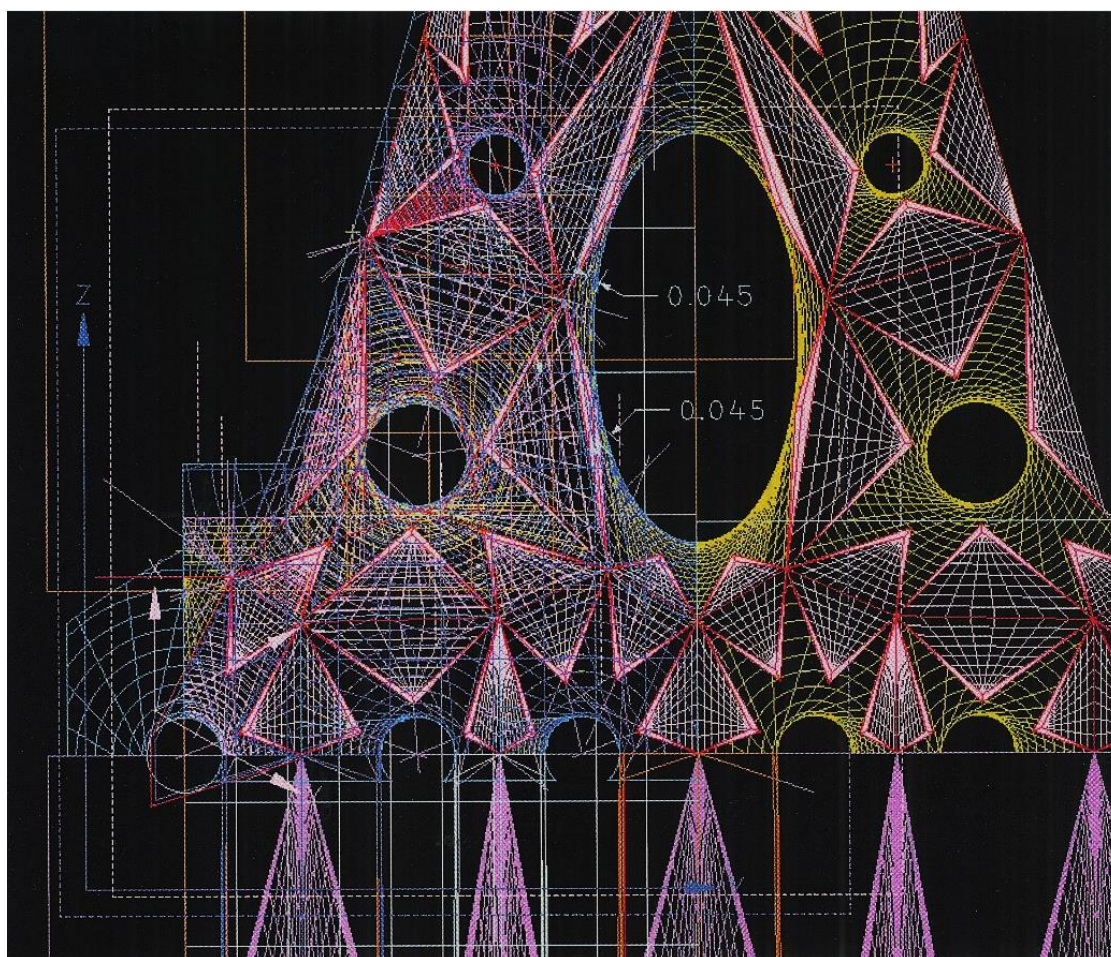


Figura 26 – Detalhe de uma das janelas principais e sua complexa relação entre superfícies regladas, suas geratrizes e diretrizes. Fonte: BURRY, 1996, p.103.

⁸ Bisel – borda que está cortada oblicuamente (ao viés), sem ângulo reto. Fonte: <https://es.wikipedia.org/wiki/Bisel>

Após este processo, as partes são divididas em componentes ou ‘explodidas’ (CAD) em partes menores (Figura 27), facilitando a sua fabricação e montagem (BURRY et al, 1996).

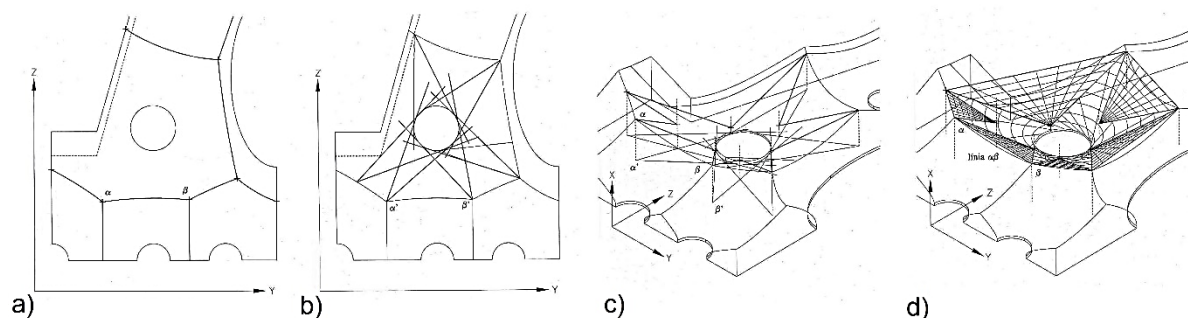


Figura 27 - a) Pontos de intersecção a e b entre 3 superfícies; b) Planta das tangências do colarinho com os pontos de intersecção; c) Projeção dos pontos até o plano de simetria da fachada; d) Planos triangulares e geratrizes dos hiperbolóides. Fonte: BURRY, 1996, p. 92.

Nesta composição aparecem os planos triangulares e os biseis que, além de dar acabamento e ornar as peças, apresentavam função de ampliar a rigidez do conjunto (Figura 28). Outra característica encontrada tanto nas paredes, quanto nas janelas, é a simetria, interna e externamente.

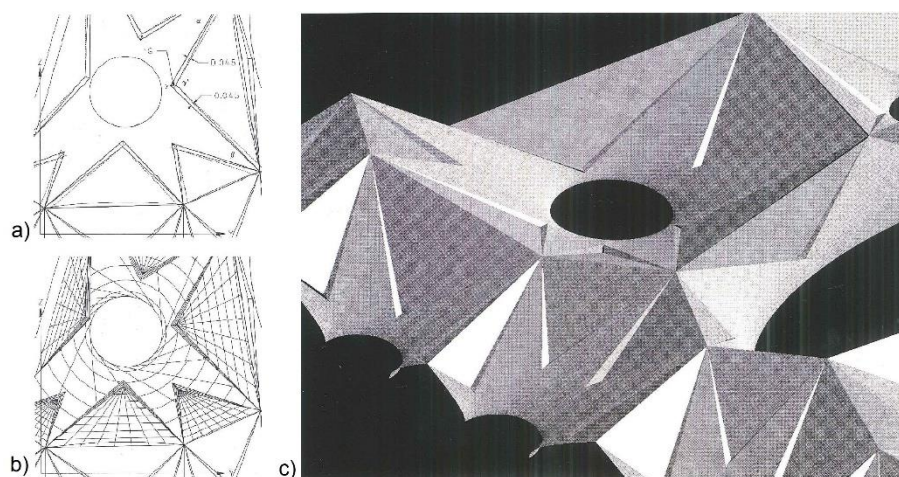


Figura 28 - a) Elaboração da planta de biseis; b) Elaboração definitiva dos biseis; c) Isometria da seção do ‘ventanal’ com sua definição formal. Fonte: BURRY, 1996, p. 95.

A utilização de superfícies regradas e o relacionamento delas entre si através de regras geométricas simples foi o legado que deixou para as futuras gerações concluírem a sua grande obra. Esta objetividade e racionalização permitiram a aproximação dos resultados através dos programas de CAD, observando o original

da maquete de escala 1:10, construída por Gaudí, e gerando os modelos 3D com o auxílio do CAD.

Complementando, outro recurso bastante utilizado por Gaudí para chegar no efeito que pretendia dar para a sua obra foram as operações booleanas⁹, que envolvem adição e subtração entre sólidos e compõe o processo de escultura dos elementos em geral (Figura 29).

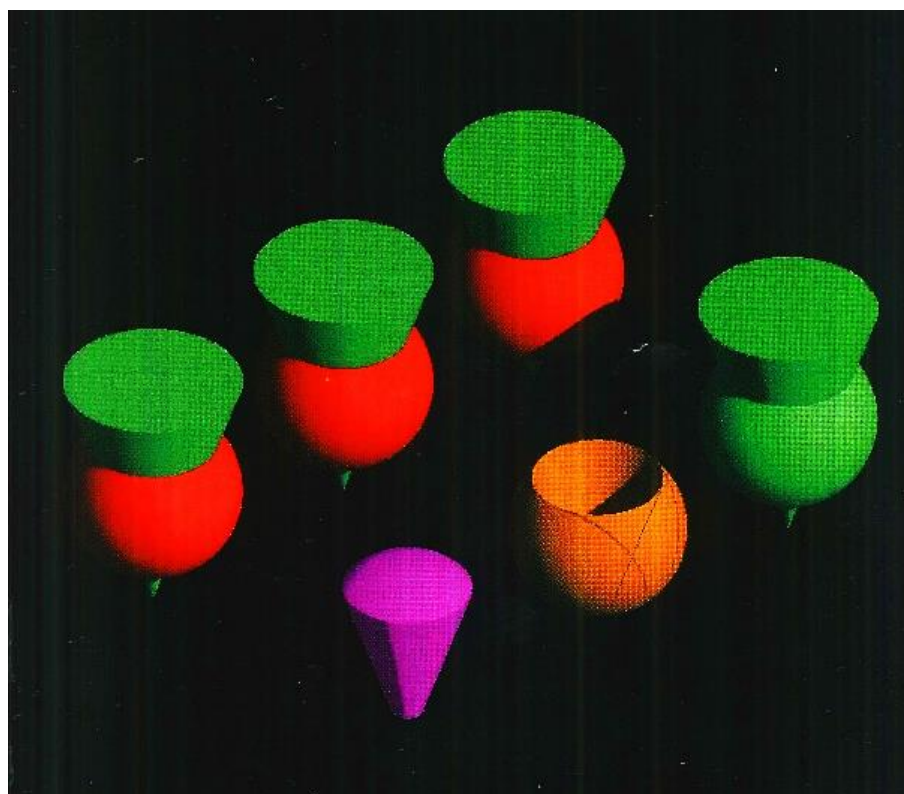


Figura 29 – Três exemplos de operações booleanas entre dois sólidos. Fonte: BURRY, 1996, p.75.

Nas colunas este processo foi utilizado, por exemplo “na coluna de 4”, situada na ramificação superior das “colunas de 8”. Esta coluna de base octogonal, ao realizar os duplos giros e aplicar a operação booleana de intersecção, obtém um pilar que acaba em um quadrado (Figura 30). Deste ponto parte o nó de ligação desta coluna, passando pelo mesmo processo de duplo giro sendo adicionado pela operação

⁹ Operações booleanas – operações sobre polígonos (conjunção, disjunção, complemento ou exclusão, etc.); operam sobre um ou mais conjuntos de polígonos. Estes conjuntos de operações são amplamente utilizados na geração de gráficos por computador. Foram sistematizadas por George Boole (1854, *An Investigation of the Laws of Thought on Which are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities*). Fonte: https://es.wikipedia.org/wiki/Operaciones_booleanas_sobre_pol%C3%ADgonos

booleana, resulta num sólido que sai da base quadrada e se transforma na base retangular necessária para a ramificação da coluna.

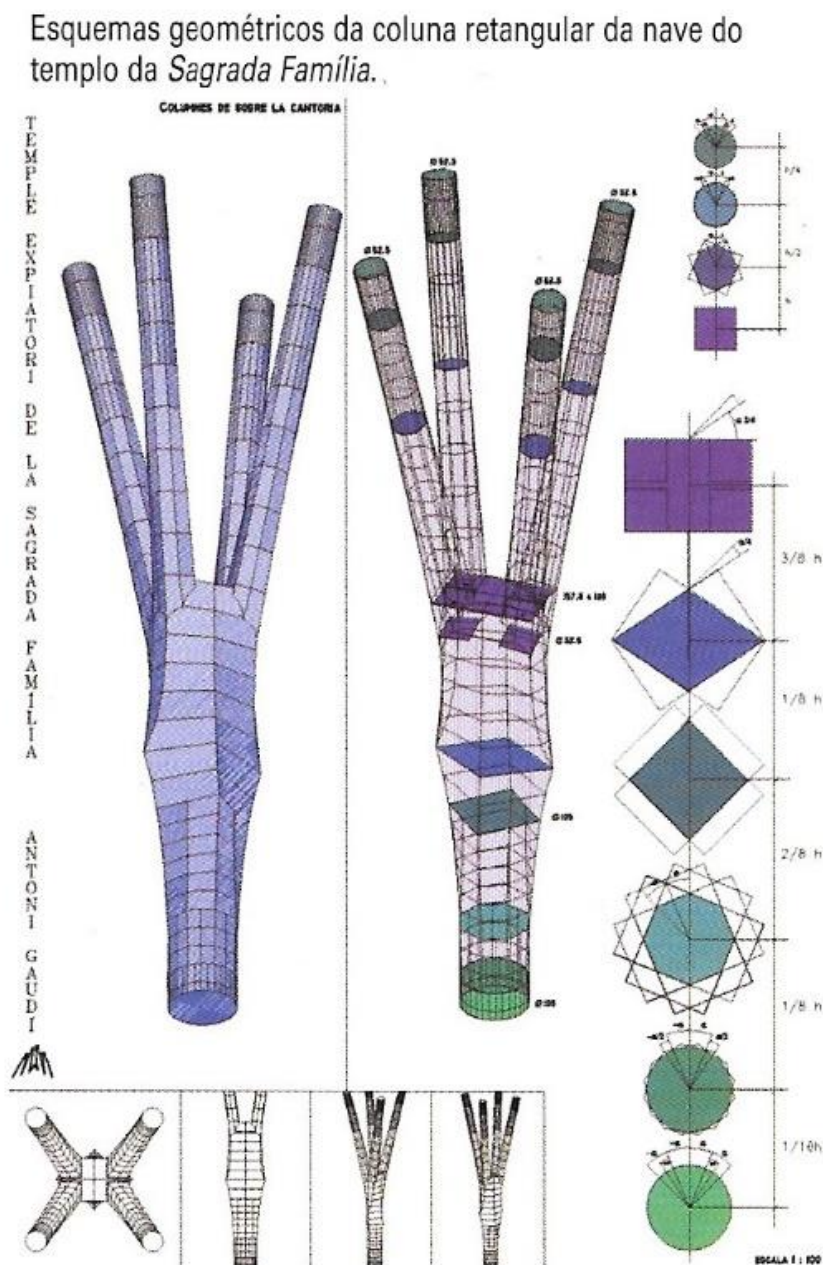


Figura 30 - Esquema geométrico da geração da “coluna de 4” de base quadrada e nódo que liga as quatro “colunas de 4” à “coluna de 8” na nave lateral do Templo Sagrada Família. Fonte: ALSINA, 2004, p. 169.

Outros processos com operações booleanas ocorreram na elaboração dos pináculos do campanário, situados na Fachada do Nascimento, bem como nos nós das principais colunas da nave central do templo. Vê-se na Figura 31, uma sequência de imagens de alguns dos poliedros utilizados para a criação dos pináculos, com toda a sua simbologia intrínseca, tanto no aspecto religioso, como também no natural e no

político. Também chamada, por alguns autores, de "macla¹⁰ de geometrias" (ALSINA, 2004, p.184) ou gemação, ela foi utilizada por Gaudí, depois de observar e extrair do comportamento dos minerais na cristalização, a organização dos processos para geração de corpos tridimensionais. Vê-se isso claramente nos Pináculos, que parecem esculpidos, mas foram produzidos através da "macla" sucessiva de vários sólidos geométricos. As alternâncias de truncamento de octaedros, também incluídos por uma esfera, que por vezes sobressai na forma de calota e a intersecção de pirâmides de base quadrada, constroem apoteoses para os campanários.

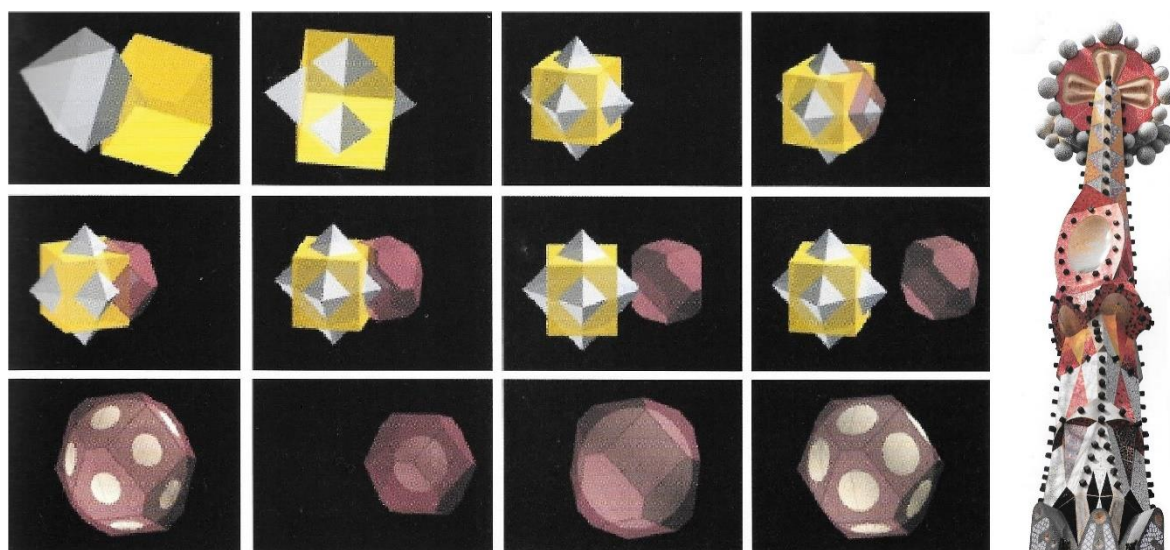


Figura 31 - Maclas sucessivas para chegar na forma desejada e o pequeno detalhe de um Pináculo. Fonte: ALSINA, 2004, p. 185 e 187.

A construção dos modelos pela representação gráfica digital tem apresentado uma grande economia no tempo gasto para a construção dos modelos e uma maior exatidão dimensional, além de identificar de forma mais fácil os centros de gravidade, as cargas inerciais e seus volumes (BURRY et al, 1996).

Mark Burry, ao encerrar uma das publicações geometricamente mais detalhadas acerca da obra de Gaudí, afirma:

...a montagem entre as técnicas artesanais e a alta tecnologia, surpreendentemente se produz com suavidade, sem polémicas construtivas, nem ideológicas. A interpretação da geometria dos ventanais, das colunas e abóbodas das naves laterais supõe um bom aprendizado no complexo trabalho

¹⁰Macla ou gemação: na mineralogia é o intercrescimento das classes cristalinas de dois ou mais corpos do mesmo mineral, segundo certas leis cristalográficas. Elas podem ser simples (2 componentes) ou múltipla (polissintética). É a propriedade de certos cristais de se desenvolverem de maneira regular. Fonte: <www.slideshare.net/sergiojlui/0s-minerais-1434357>.

de uso de superfícies regradas com segurança e eficácia. (BURRY et al, 1996, p.157)

Ao falar de CAD associado ao complexo trabalho de Gaudí, em sua tese de doutorado, Halabi (2008) trabalhou com a pesquisa buscando identificar o momento em que ocorreu a introdução do uso de CAD/CAM na arquitetura, visto que na indústria isto já acontecia desde 1952.

Curiosamente descobre que os primeiros movimentos neste sentido estão associados ao trabalho de recuperação documental do projeto da Sagrada Família. A equipe encarregada da construção da Sagrada Família, na busca por um meio mais eficiente, preciso e econômico, em 1988 adquire uma máquina de controle numérico CNC para suas oficinas. Na sequência, ocorre a busca pela programação e, no ano de 1991, é construída a primeira coluna da nave central de forma digital utilizando CAD/CAM (HALABI, 2008).

Atualmente, com o auxílio das tecnologias mais avançadas, a geração algorítmica de modelos 3D no preparo de peças para montagem da Sagrada Família otimizou a produção e permitiu executar com fidelidade os princípios estabelecidos por Gaudí (HALABI, 2008). Citando Mark Burry, “a execução da obra, mediante qualquer técnica, mostra o gênio de Gaudí, capaz de criar uma arquitetura abstrata, porém racionalista” (BURRY et al, 1996, p.133).

As superfícies regradas simbolizam a evolução das superfícies planas para a geometria espacial (S). O conjunto dos avanços técnicos e estruturais da sua obra a fizeram evoluir histórica e estilisticamente. O acervo de Gaudí demonstra constância no seu processo de investigação em busca das diferentes formas (BURRY et al, 1996). A geometria de Gaudí é tida como referência no que tange a conceitos para as formas da arquitetura digital e as formas complexas. Apesar de sua vanguarda, rompendo com o gótico e fazendo parte do modernismo espanhol, seu trabalho não protocolou ingresso na arquitetura moderna do início do século XX, apregoada pela Bauhaus, e temporariamente foi levada ao esquecimento.

No entorno da década de 50/60, o artista espanhol Salvador Dalí encabeça um movimento favorável à genialidade do arquiteto, bem como uma grande exposição no MOMA da Nova Iorque é dedicada a ele. Mais tarde, já na década de 80, a UNESCO

inclui três das suas obras como acervo no Patrimônio Mundial, selando definitivamente a importância de sua obra no cenário arquitetônico e acadêmico-científico em todo o mundo (BERGÓS et al, 2011).

“Não tenho dúvida de que existem formas mais simples de construir, mas Gaudí parece ter criado problemas a fim de demonstrar como ele poderia resolvê-los”. (EMANUEL, 1980, p.276)

As soluções de construção, estática, óptica e acústica utilizadas por Gaudí demonstram um avançado domínio técnico aliado a um senso estético muito detalhista e peculiar. Nas soluções estruturais, buscou o máximo rendimento, rompendo com as massas inertes e ampliando os elementos ativos. A iluminação foi trabalhada com sobreposições, permitindo a entrada de luz oblíqua, ressaltando os relevos, além de difundir a luz por entre as abóbodas e seus encaixes estelares. Da mesma forma a acústica não encontra ecos internamente, permitindo a máxima nitidez por entre seus ambientes, além dos diversos níveis gradativos dos coros. As medidas dos principais elementos da obra da Sagrada Família se baseiam no módulo de cinco metros, observando uma escala harmônica ($1/4$, $1/3$, $1/2$, $2/3$, $3/4$, e 1), que também tem e está presente na representação figurada das fachadas, das arcadas, dos campanários. (BERGÓS et al, 2011 e MARTINELL BRUNET, 1969)

2.2.1.1 Algumas influências

Nos anos sessenta, do século XX, o trabalho de Gaudí volta a ser descoberto e estudado. Porém, o caráter artesanal de sua obra juntamente com a existência de alguns tabus (W), dificultaram a adaptação de sua obra para os tempos atuais (BERGÓS et al, 2011 e HALABI, 2008). Serviu, porém, como um campo profícuo para os estudos que aproximaram a tecnologia digital aplicada para a arquitetura. A complexa geometria do trabalho de Gaudí, associada à sua lógica projetual, possibilitaram a aproximação das tecnologias digitais ao seu trabalho, bem como a fabricação digital, fatores que estão contribuindo muito para a conclusão de sua obra com as técnicas de fabricação mais avançadas. Muitas pesquisas realizadas nas oficinas da Sagrada Família, contribuíram para a divulgação deste trabalho e a exposição deste complexo trabalho em nível mundial, e propiciou um contato ainda maior das performances de CAD com a exatidão dos processos CAM.

As superfícies regradas, ou simplesmente, os planos geometricamente deformados, foram muito utilizados em sua obra e deixaram uma marca que, posteriormente, tem influenciado trabalhos de outros arquitetos como Pier Luigi Nervi, Friedensreich Hundertwasser, Oscar Niemeyer, Eduardo Torroja, Santiago Calatrava e Félix Candela, como se vê na Figura 32 (PLAZA et al, 2014).

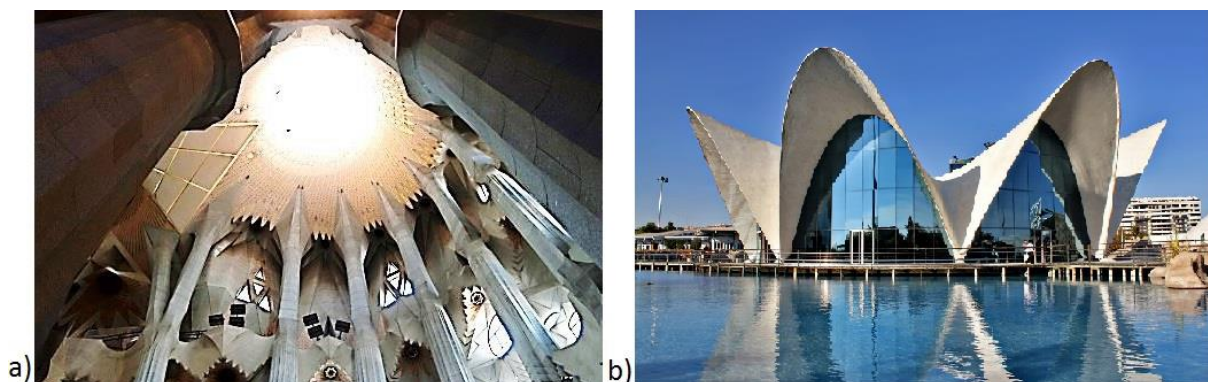


Figura 32 - a) Cúpula principal, Sagrada Família – Os paraboloides utilizados nos encontros dos hiperboloides das cúpulas com os hiperboloides das colunas (Foto: Florent Moritz); b) Estrutura do teto do Restaurante Flutuante do Oceanográfico de Valência, de Félix Candela, onde são vistos os distintos paraboloides que se apoiam em dois pontos e se mantêm em recíproco equilíbrio. Fontes: <<https://www.flickr.com/photos/mrfenwick/15744264563/in/photostream/>> e <http://www.peri.com.pe/shared/references/img/09_rflorante_p2_1_lg.jpg>

Seguindo esta linha de redescobertas e valorização do trabalho iniciado por Gaudí, recentemente vemos a projeção mundial do arquiteto Santiago Calatrava, que apresenta as raízes na mesma cultura hispano-mediterrânea que permeava sua obra. No seu portfólio identificamos vários elementos que tocam em muitos pontos da base projetual de Gaudí, apesar da forma mais estilizada e tecnologicamente mais avançada (Figura 33). Dentre elas, podemos citar a concepção de projeto que relaciona detalhadamente cada uma das partes que o compõe, bem como retoma a verdade estrutural, valorizando seus elementos e o deslocamento das forças até o solo (PLAZA et al, 2014). Da mesma maneira, aspectos políticos e sociais estão presentes na sua obra, representados por uma simbologia da cultura mediterrânea e se apresentam também na obra de Santiago Calatrava.

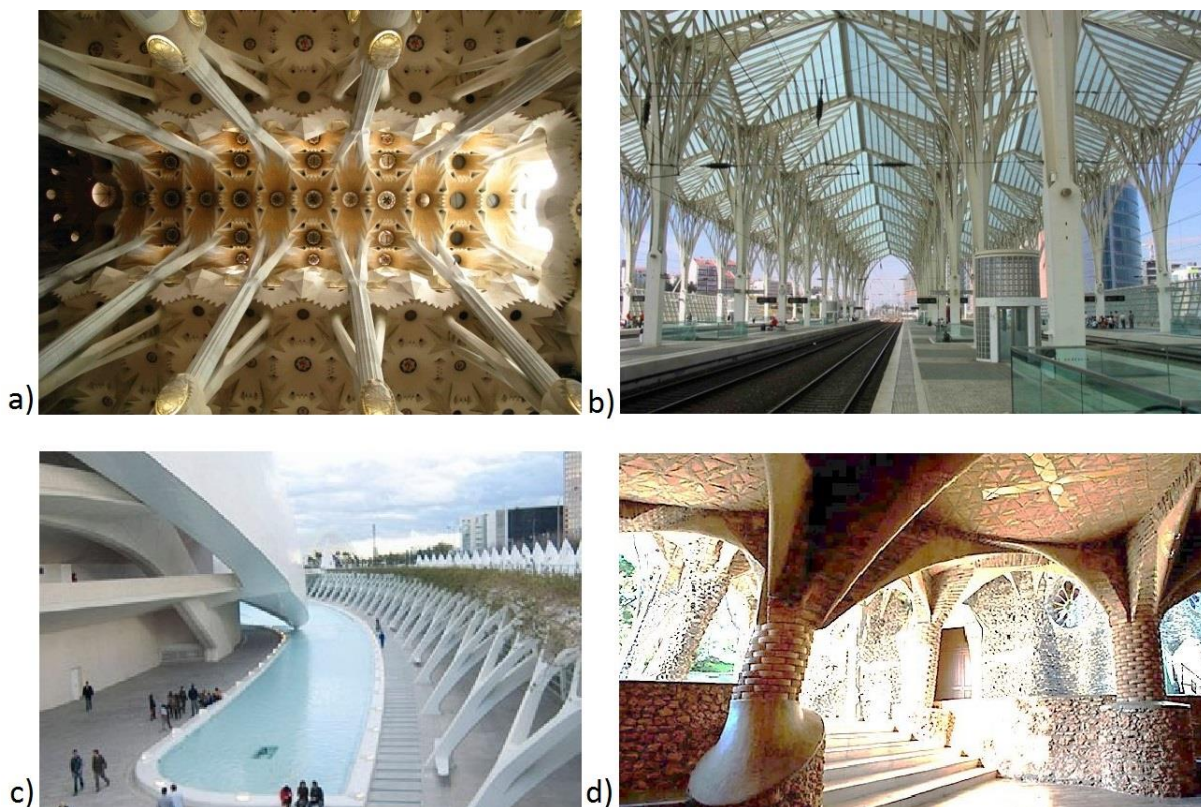


Figura 33 - As influências de Gaudí: a) Nave central do Templo Sagrada Família, Barcelona, de Antoni Gaudí (Foto: Mera); b) Estação Oriente, Lisboa, de Santiago Calatrava (Foto: Juan Manuel Roque Cuéllar); c) Passeio dos Arcobotantes – Palácio das Artes Rainha Sofia, Valência, de Santiago Calatrava e d) Cripta da Capela Guell, de Gaudí. Fonte: <<http://www.paissano.com/la-influencia-de-gaudi-en-calatrava/>>, <http://www.lesarts.com/docs/2009/12/23/01060002_69_2_0_gra.jpg> e <<http://www.gaudicoloniaguell.org/en/what-visit/gaudis-crypt>>

Ainda que modernizado, o estilo de Gaudí se apresenta pelo uso de elementos estruturais marcantes, revestimentos em mosaico em detalhes cercados de tecnologia, valorização da cultura local, entre outros.

2.2.2. O extrato geométrico do Museu Guggenheim de Bilbao

Quase um século depois da arquitetura moderna posicionar-se frente ao antagonismo do colonialismo europeu e as tendências de afirmação do Novo Mundo, ela se deparou com as novas tendências de produção tanto em termos de definição quanto em termos de suas novas formas. Assim, chegamos à era digital, trazendo novas rupturas na cultura arquitetônica.

Em 1997 o Museu Guggenheim de Bilbao se insere neste cenário como um exemplo de alteração da divisão do trabalho entre o canteiro de obras e o desenvolvimento dos projetos (COHEN, 2013).

Um fator preponderante na obra do museu foi a definição do lugar. Inicialmente Gehry fora chamado pela fundação Solomon Guggenheim para opinar sobre o antigo

Armazém da Alhóndiga, que a administração local havia oferecido para a obra, com base nos planos de melhoramentos urbanos. Ao fazer a análise solicitada, Gehry contestou a sugestão inicial e frisou a importância da valorização do vale do Rio Nervion, da orla e das tomadas visuais deste local. Gehry sugere o lugar que, para ele, traria o melhor resultado para a cidade e para o museu.

Na planta da área central da cidade ele registrou suas impressões para o potencial que o local oferecia (Figura 34) em termos de visuais e valorização do "triângulo geocultural" de Bilbao (VAN BRUGGEN, 2011, p.24), assim denominado por Thomas Krens, diretor da Fundação Solomon R. Guggenheim. Este polígono era formado pelo Teatro Arriaga, o Museu de Belas Artes e a Universidade de Deusto.

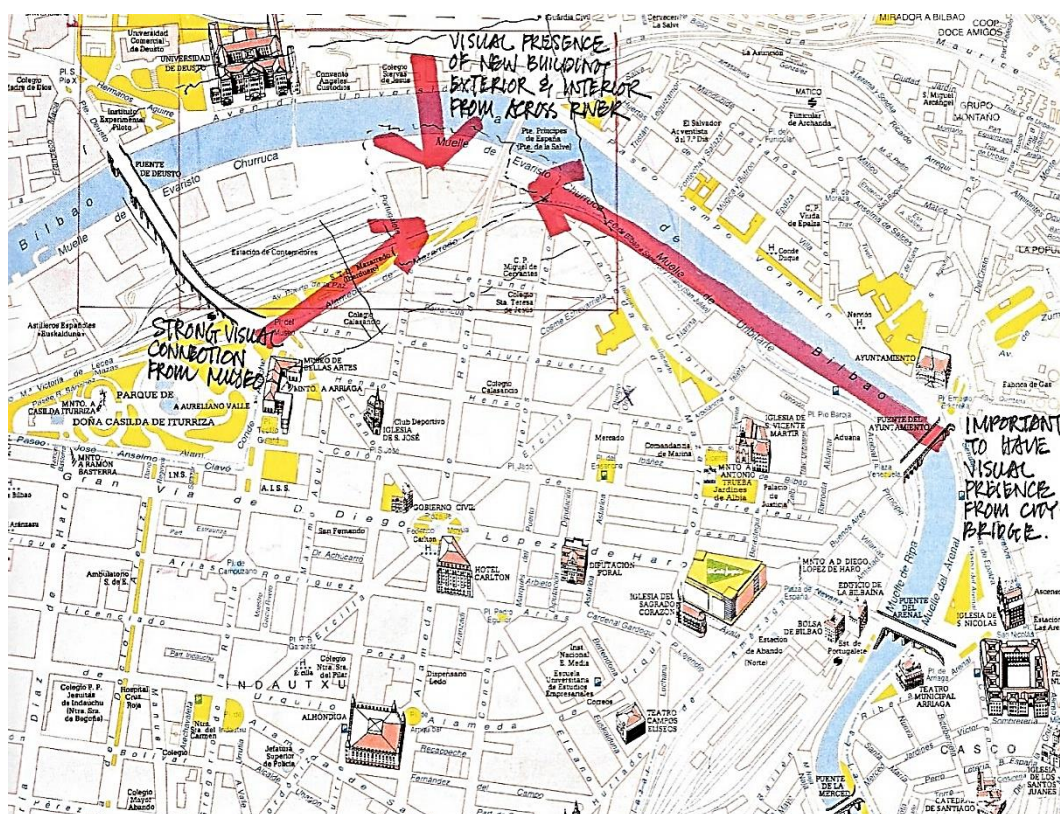


Figura 34 - Mapa da área central de Bilbao com as notas manuscritas de Frank Gehry em julho de 1991. Fonte: VAN BRUGGEN, 2011, p. 23.

Quando solicitada a proposta para o concurso, cujos participantes convidados seriam ele, na figura de representante americano, Arata Isozaki, como concorrente asiático e o escritório da Coop. Himmelblau, como participante europeu (VAN BRUGGEN, 2011), Gehry decidiu produzir maquetes que demonstrassem a evolução de sua ideia e apresentou o seu registro fotográfico, além das três maquetes como proposta de concepção para o edifício do museu (Figura 35).

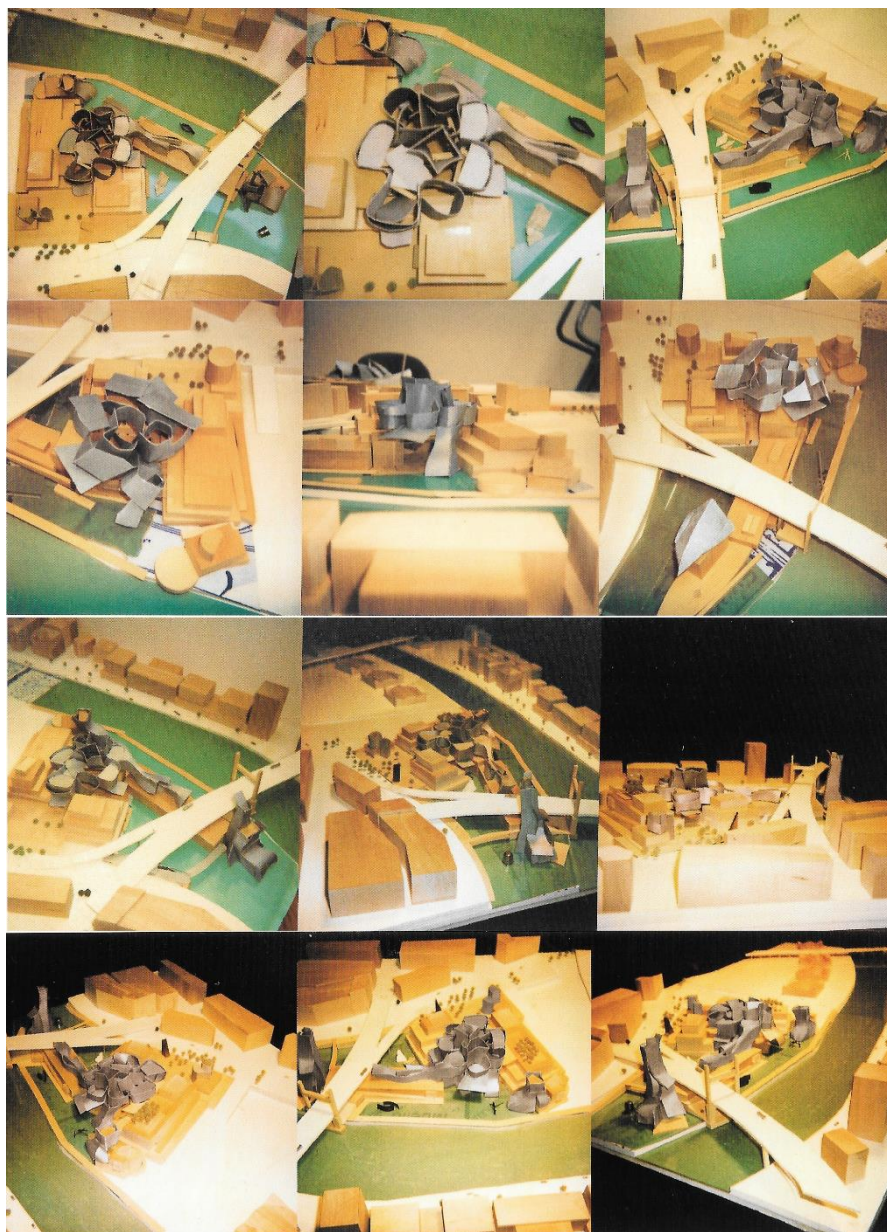


Figura 35 - Seleção de algumas fotos retiradas por 3 (três) dias consecutivos durante a elaboração da proposta de concepção e posteriormente apresentada no concurso para projeto do Museu Guggenheim, em Bilbao. Fonte: VAN BRUGGEN, 2011, p.81, 82, 88, 92 e 93.

Num processo fluido, Gehry trata da composição abstrata do objeto em planos e massas escultóricas (W) baseadas em segmentos de linhas retas, como flores e folhas se abrindo em elementos díspares, porém amarrados com elementos geométricos do edifício (Figura 36).



Figura 37 - Evolução do modelo, estudo do átrio externo, galerias e clarabóias, setembro de 1992. Fonte: VAN BRUGGEN, 2011, p.115.

Ainda durante o desenvolvimento da proposta para o projeto do Museu, em 1991, Gehry construiu a escultura de peixe flutuante, para sombrear o centro comercial do Paseo Marítimo, junto ao hotel na Vila Olímpica de Barcelona (Figura 37). Este trabalho, juntamente com outros 'peixes anteriores – o Peixe de Cristal (1986) do Centro de Arte Walker, Mineápolis, e o Restaurante Fishdance (1987) em Kobe, Japão - lhe deu o entendimento de que as escamas do peixe, no formato de losangos, "superpostas e arredondadas" se apresentaram involuntariamente como uma solução para tratar o revestimento dos edifícios com dupla curvatura'. (VAN BRUGGEN, 2011, p. 48)

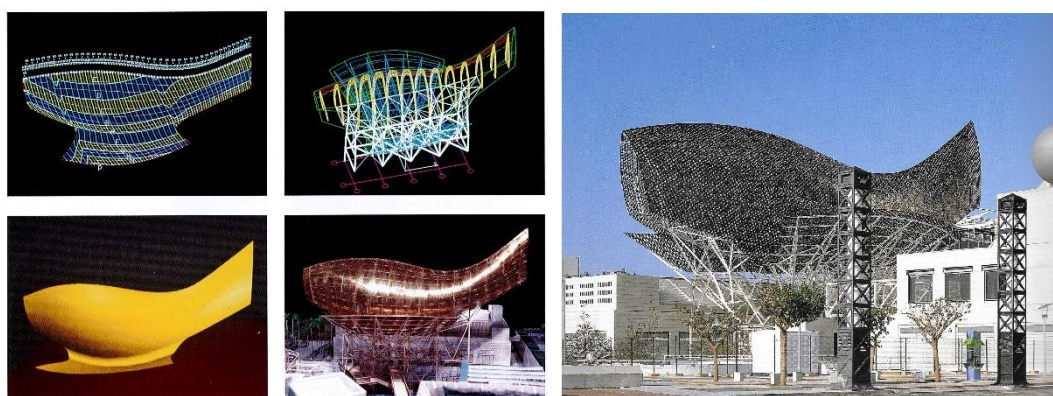


Figura 36 - Modelos 3D do Barcelona Fish no CATIA, maquete e escultura do Peixe, no complexo da Vila Olímpica, Barcelona (1991). Fonte: VAN BRUGGEN, 2011, p. 48 e <<https://mafana.wordpress.com/2011/10/>>

A escultura do Peixe, na Villa Olímpica de Barcelona, foi o primeiro projeto usando a modelagem digital na escala da arquitetura. Este trabalho foi auxiliado por Rick Smith, desenvolvedor do programa CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) na Dessault Systèmes, a partir do escritório de Frank Gehry, o

que possibilitou a sua aplicação em outros projetos posteriores, incluindo o Museu Guggenheim de Bilbao. A modelagem 3D passou a ser utilizada de forma integrada (S), possibilitando a quantificação, orçamento e fabricação das peças de maneira digital (DAVIS, 2013). A operação do 'Peixe' colocou em teste os limites do programa CATIA para a qualidade construtiva através da descrição e cálculo de geometrias complexas (Figura 38).

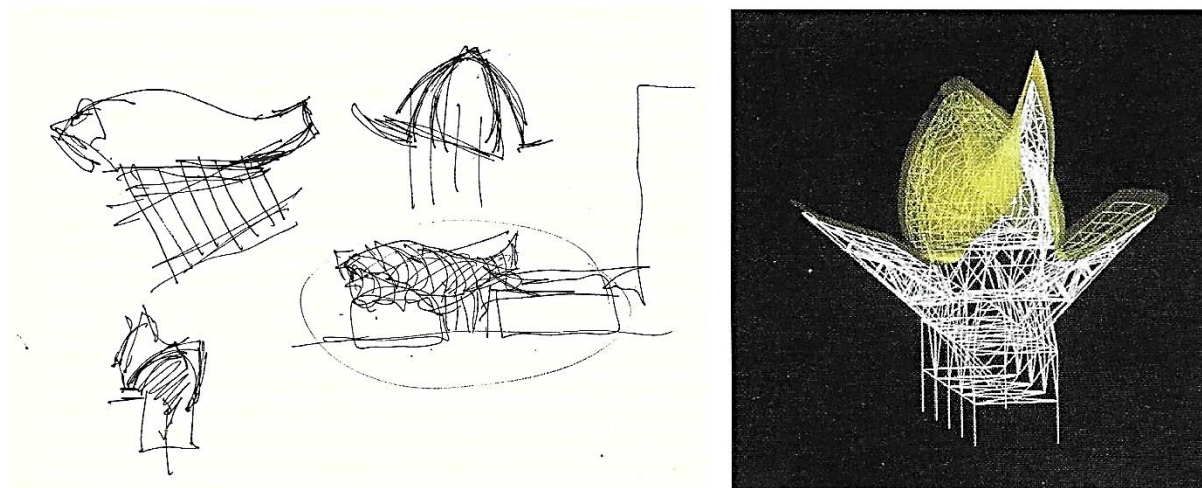


Figura 38 - Esboços de Frank Gehry para a escultura do Peixe, na Vila Olímpica de Barcelona e o modelo 3D digital realizado com o software CATIA, 1991. Fonte: ARANTES, 2012, p.145 e LINDSEY, 2001, p.36.

A produção de edifícios com dupla curvatura passou a ser possível através da fabricação de elementos construtivos com o auxílio do programa CATIA, adaptado da indústria aeroespacial pela equipe do escritório de Frank Gehry para solucionar as complexidades formais de seus projetos (W) (COHEN, 2013).

O processo de criação de Gehry passa pela elaboração de vários dos esboços, definindo as principais visuais, os elementos locais importantes (Figura 39) e corrigindo detalhes que vão sendo visualizados e ajustados com o auxílio da maquete física (W), executada nos mais diversos materiais.

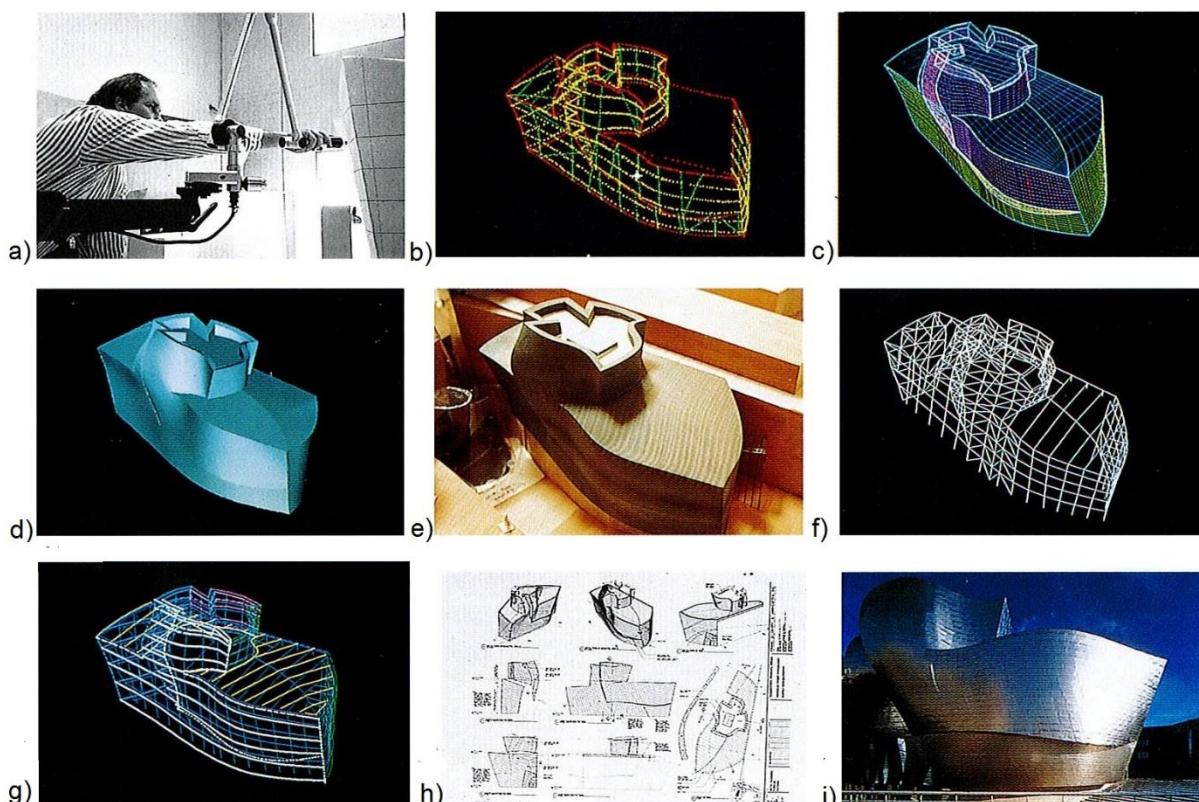


Figura 41 - Extrato das principais etapas da digitalização do modelo 3D de Gehry. Fonte: <<https://mafana.files.wordpress.com/2011/10/2-0002.jpg>>

As malhas contínuas, geradas a partir do escaneamento da maquete, compõem as superfícies regradas parametricamente no CATIA, ou superfícies NURBS (Non-Uniform Rational Basis Spline), onde todos os pontos da sua grelha passam a ser controlados geometricamente (S) (Figura 41) através de parâmetros. NURBS são curvas e superfícies que introduzem a continuidade¹¹ geométrica das formas livres. Utilizada na definição de superfícies com curvaturas complexas, como cascos de navios e carrocerias de automóveis, é definida por um conjunto de pontos de controle ponderado e um vetor de nó¹².

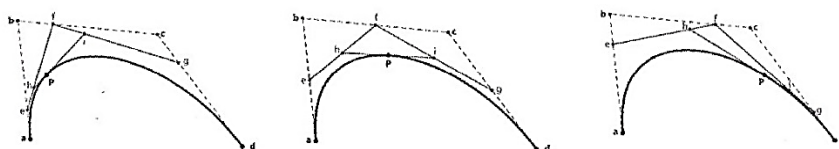


Figura 40 - Geometria das NURBS (Non-Uniform Rational Basis Splines). Fonte: BURRY, 2012, p. 263.

¹¹ Continuidade garantida pelas condições de tangência (concordância) e cotangência (torsão).

¹² A NURBS curve is defined by its order, a set of weighted control points and a knot vector (BURRY, 2012, p. 263).

O detalhamento e precisão destas superfícies é importante, pois é daí que saem as análises estruturais e suas deformações, a estanqueidade, resistência a intempéries, características de conforto térmico e acústico, bem como suas simulações, análise de custos e viabilidade técnico construtiva (S) (ARANTES, 2013). Os componentes do modelo digital no CATIA (Figura 42) são carregados de informações importantes, como as cargas, resistências, quantitativos de materiais, etc.

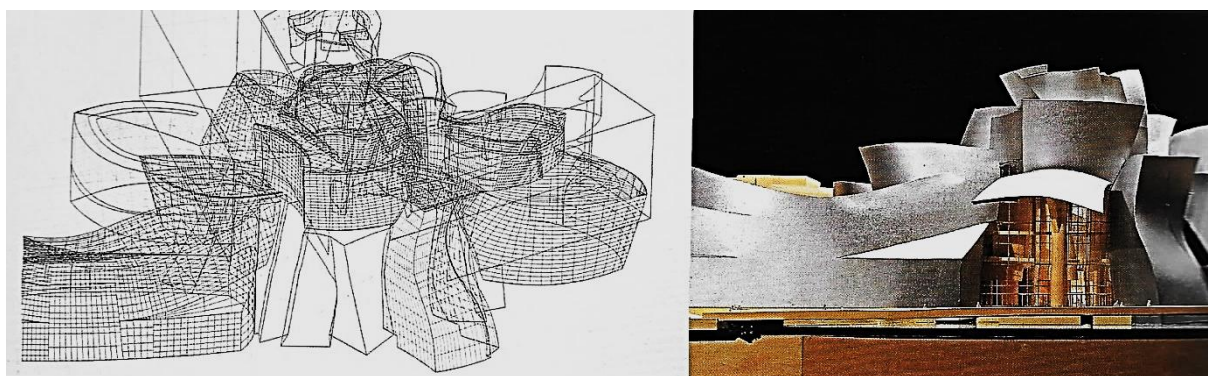


Figura 42 - Representação do CATIA, que mostra o átrio externo do Museu e a maquete do projeto feita em madeira e papel, em dezembro de 1993. Fonte: VAN BRUGGEN, 2011, p. 146.

A estrutura metálica de sustentação do Museu Guggenheim, bem como a malha que apoia as placas de titânio, é composta, em sua maior parte, por elementos de seção reta (W) (ARANTES, 2013). Na Figura 43 vemos dois detalhes da estrutura, que são a galeria em forma de 'Bota' e o átrio.

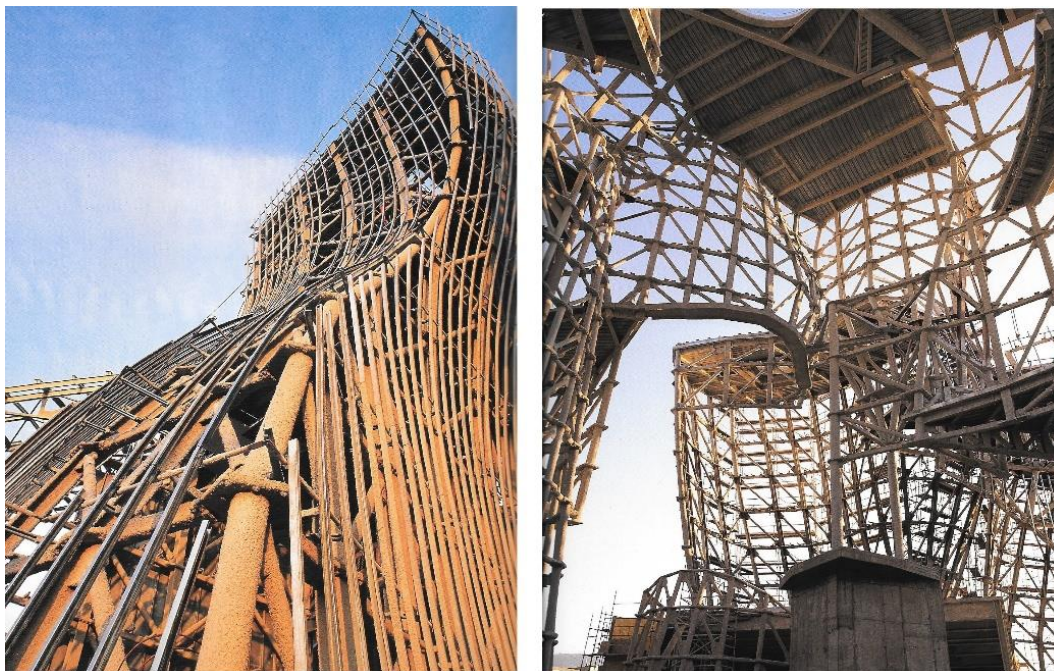


Figura 43 - Detalhes da estrutura metálica de sustentação do Museu Guggenheim de Bilbao. Fonte: VAN BRUGGEN, 2011, p. 158-159.

Os módulos da estrutura primária são compostos por quadros retilíneos com 3 metros de lado, com exceção do volume da 'Bota' e da 'Torre S17'¹³, onde os módulos são curvos também. Entre a primeira camada estrutural e o revestimento externo de titânio, outras duas camadas estruturais fazem os ajustes das demais curvaturas, a segunda construída em tubos de aço ($\varnothing 60\text{mm}$), orienta as curvaturas horizontais, e a terceira é que estabelece as curvaturas verticais que suporta o revestimento das chapas galvanizadas de 2mm que serão revestidas com as placas de titânio (Figura 44).

¹³ Um desafio para o desenvolvimento estrutural estava nos grandes e diferentes volumes geométricos do Museu. Frank Gehry chamou os blocos poligonais complexos de "formas integradas" e os nomeou individualmente de Neo, T1000, Potemkin, Cobra, Fox, Flower, Tower S17, Fish, Boot e Canopy. (POLLALIS, 2002, p.9)



Figura 44 - a) Átrio mostrando a grade da estrutura modular; b) Curvatura horizontal da estrutura secundária; c) Estrutura terciária para fixação das chapas. Fonte: POLLALIS, 2002, p.10.

O mapeamento das superfícies, feito através do CATIA, permite o entendimento de que o projeto foi elaborado com auxílio do computador. Porém, existe uma diferença entre a abordagem utilizada por Gehry e sua equipe, e outros trabalhos que são geradas a partir do computador. No caso de Gehry as formas são geradas através de métodos tradicionais (W), baseados em croquis e maquetes. Somente depois desta definição o projeto recebe o tratamento digital, passando para uma etapa que ajusta e viabiliza sua construção (SYKES, 2010).

Gehry "trabalha como um escultor" (W) (MONEO, 2008, p.238) e não se atém às representações da arquitetura, prescindindo disso poderia ir diretamente para o produto, para a sua obra. Seu trabalho almeja a materialidade ou a sua natureza corpórea e física, sua textura e propriedades essenciais. Deseja que a perenidade de suas obras seja das obras de arte. Apesar de haver uma "contradição em termos de arquitetura e movimento" (p.241), há uma agitação na sua obra que remete para "um novo organicismo" em arquitetura, que nos remete a um "novo sentido de monumentalidade" (MONEO, 2008, p.280).

Gehry considera que su principal aportación a la práctica de la arquitectura es la realización directa de una imagen o forma que él busca. Y es esta coordinación mano/ojo – un proceso de transformación de um borrador intacto en una maqueta y posteriormente en un edificio – el que conforma el edificio. (VAN BRUGGEN, 2011, p.15)

Esta afirmação já havia surgido em conversa com o crítico e também arquiteto Alejandro Zaera-Polo, em entrevista para a revista El Croquis, em edição especial dedicada à obra do escritório de Gehry, e compilada para livro posteriormente.

Questionado sobre o uso valorizado de maquetes ele afirma que “é uma das partes mais importantes” do seu método e sua “maior contribuição” é “conseguir uma coordenação entre as mãos e os olhos”, levando a “cabo a construção... de uma forma”... usando os desenhos como “trampolins”, pois por seu intermédio sabe “qual é o próximo passo a ser dado”. (ZAERA-POLO, 2015, p.221)

2.3. A geometria nas análises compositivas

Nos dois projetos apresentados, embora tenham se apoiado no uso massivo de maquetes em seu processo projetivo, podemos verificar, em ambos os casos, a presença de algumas características compositivas, que se apoiam na utilização da geometria.

As composições arquitetônicas geralmente apresentam, de forma mais ou menos evidente, as regras geométricas utilizadas para a obtenção dos resultados desejados pelo arquiteto. Apresentaremos brevemente dois sistemas compositivos, utilizados na arquitetura e que foram citados em alguns discursos sobre estas obras. Um deles explora os conceitos clássicos da proporção áurea e o outro apoia-se na arquitetura fractal para analisar seus arranjos formais.

A Figura 45 apresenta um breve gráfico onde foi aplicada a análise da proporção áurea na fachada da Natividade, do Templo Sagrada Família, baseado em imagens encontradas na web, visto a dificuldade de se obter documentação gráfica sobre o projeto.

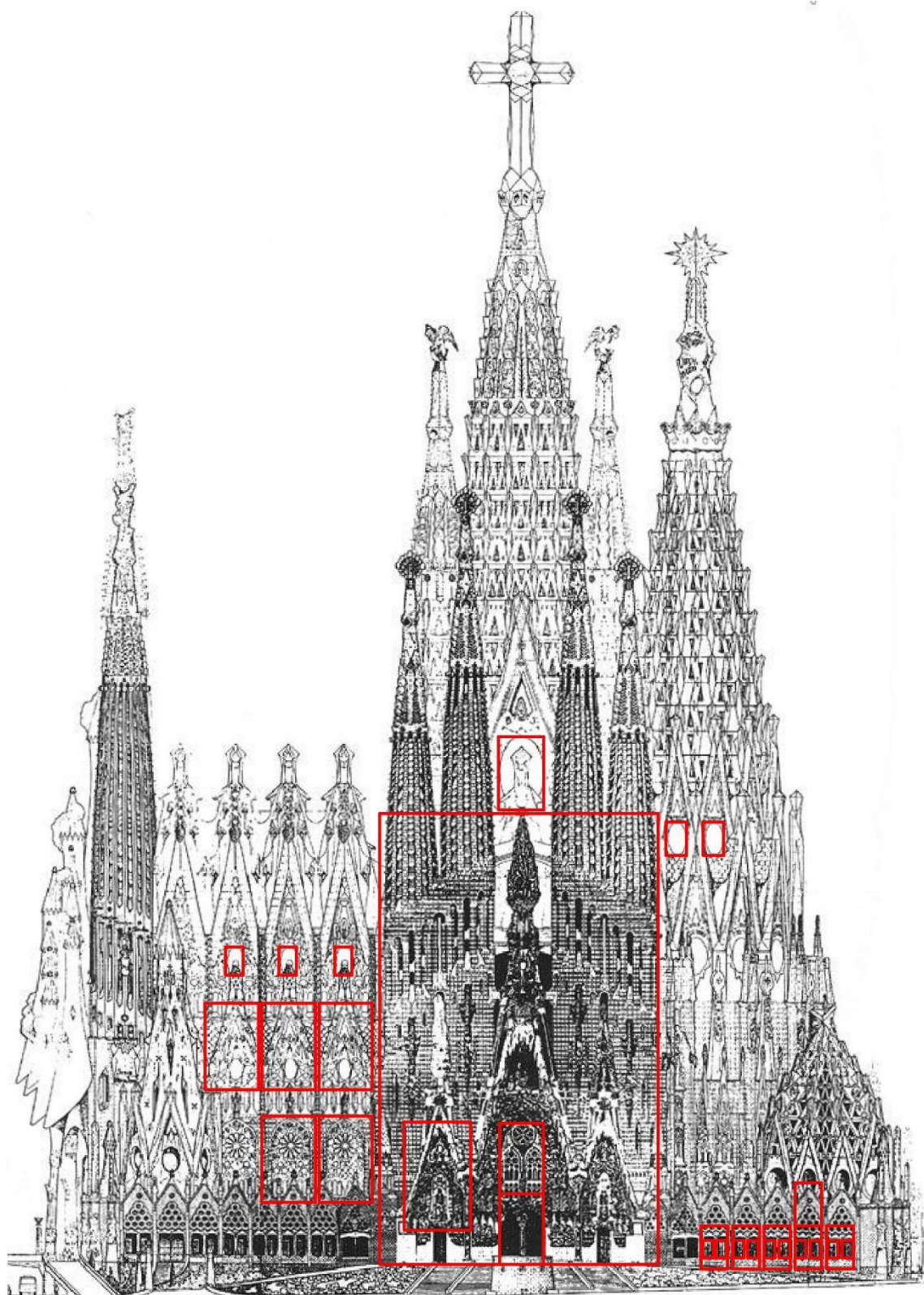


Figura 45 - Os retângulos áureos na proporção da Fachada da Natividade. Fonte: Imagem de fundo <<https://classconnection.s3.amazonaws.com/618/flashcards/1220618/jpg/-0401337042588348.jpg>> com interferência da autora. Acesso em setembro de 2016.

Esta análise reitera o cuidado de Gaudí no desenvolvimento do seu projeto, não só na particularidade do detalhe de cada componente, mas também na visão do todo, na volumetria das fachadas e a relação entre suas partes. A representação destas afirmações aproxima o caráter didático deste trabalho, tornando mais explícitas as ideias que são afirmadas pelos autores. Isto torna claro aquilo que está sendo dito e viabiliza a compreensão daqueles que estão em processo de aprendizado, através de experiências mais concretas, fazendo mais evidente aquilo que antes era implícito.

Os procedimentos clássicos de composição, presentes em grandes obras de arquitetura e de arte, podem ser identificados quando se desconstrói o objeto, reduzindo sua complexidade, a fim de entender sua lógica compositiva.

Quando é realizada a desconstrução do conjunto, nestes dois casos, as lógicas de composição aparecem, tanto em termos de proporção, quanto em fluidez e equilíbrio. A compreensão da lógica e do absoluto controle no desenvolvimento da forma se dá a partir da compreensão das partes e do somatório destas.

Apesar de haver pouca documentação arquitetônica disponível para pesquisa, uma análise das proporções clássicas no Museu de Guggenheim, de Gehry, realizado por BORDA e ROCHA (2016), identifica algumas proporções de retângulos áureos e retângulos raiz de 2 presentes na fachada e plantas do Museu.

A Figura 46 possibilita a visualização em (a) de um fragmento da fachada leste, onde no volume prismático aparece o retângulo de raiz 2 tanto nas aberturas como também na sua composição e na forma desta fachada e em (b) a implantação e em (c) a planta do 2º nível demonstram a alternância de retângulos áureos, retângulos de raiz 2 e quadrados que envolvem a forma dos diversos volumes do Museu.

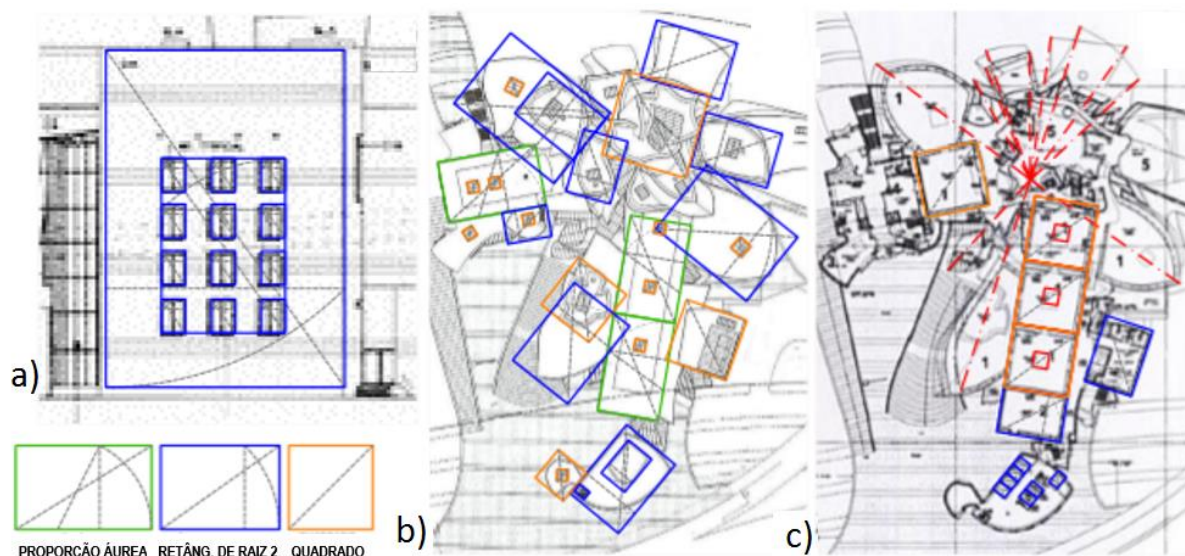


Figura 46 - Identificação de proporções em fachada e plantas baixas do Museu Guggenheim: a) Elevação Leste parcial do volume prismático; b) planta de Implantação; c) planta do 2º nível. Fonte: BORDA e ROCHA, 2016, p.16.

Estes procedimentos, bem como o que será apresentado na sequência, fazem parte de estratégias didáticas apresentadas em Borda, Pires e Vasconcelos (2012), que envolvem processos de representação geométrica (S), identificação de seus componentes e as relações de proporção (S), simetria entre outras regras compositivas utilizadas (S) nas análises de projetos de arquitetura destacados. Estes processos explicitam os elementos que compõem os diferentes exercícios projetuais (S).

A verificação de algumas regras compositivas explica, explana e torna mais didática a comunicação da análise de um projeto (S). Nesse sentido, algumas hipóteses foram lançadas por Borda e Rocha (2016). A identificação do contexto e traçados reguladores (S), de um repertório formal inicial e a recorrência de proporções, simetrias e recursividade (S) e, por fim, o controle das concordâncias, paralelismo e convergências nas principais visuais do edifício e a análise da harmonia e equilíbrio formal, própria dos escultores.

A Figura 47 demonstra a aplicação de uma análise gráfica sobre a implantação do Museu Guggenheim, onde é identificado o processo recursivo utilizado, com pequena variação de escala e utilizando o átrio como eixo de recursão para os volumes com forma de folha falciforme.



Figura 47 - Padrões em folha falciforme. a) padrões identificados; b) planta de implantação com padrões de folhas falciformes; c) sobreposição de padrões. Fonte: BORDA e ROCHA, 2016, p.17.

A Figura 48 demonstra as fachadas do Museu, onde foram identificadas linhas de continuidade e pontos de afluência linear, reforçando o caráter escultórico da obra e utilizando-se da anamorfose para suplementar as características fractais de auto-similaridade.

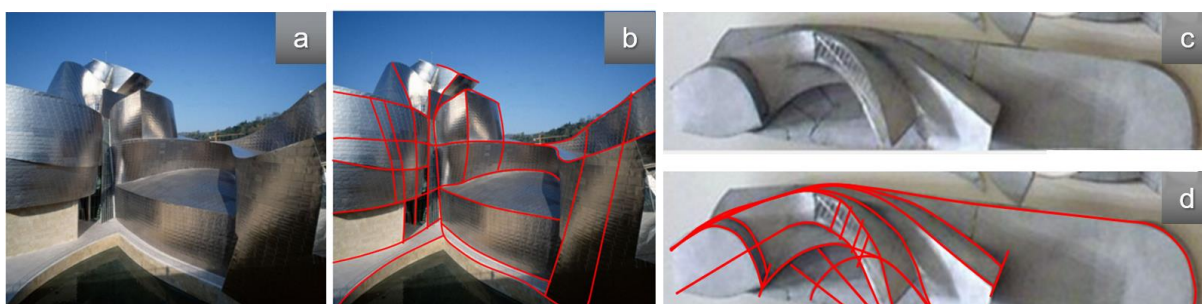


Figura 48 - As linhas de concordância entre os diferentes volumes. Fonte: BORDA e ROCHA, 2016.

A obra de Frank Gehry tem sido largamente associada, pelo meio especializado, como usuária de modelos digitais fractais, já desde sua concepção na programação do *software*. Alguns críticos, porém, questionam essa qualidade em função da falta de rigorismo matemático (OSTWALD e VAUGHAN, 2016).

Mostrou-se nos gráficos da análise realizada e apoiada pelo significado intuitivo da definição de geometria fractal, onde a combinação das características das partes se identificam com o todo, a qualidade fractal. As diferenças de escala e deformações, a fragmentação e irregularidade da forma e o fato de conter elementos distintos nesta composição, além de estar envolvida pela auto-similaridade, faz dessa obra um exemplar fractal.

3. Uma análise na forma de matriz

A análise das obras escolhidas para este trabalho, que identificou nos discursos os pontos fortes e pontos fracos de cada obra, bem como a chance de aprendizado ou sinais de risco, que as mesmas apresentam, nos levou a buscar e utilizar uma matriz para comparar estes fatores com a situação das pesquisas na área da gráfica digital, seus ensinamentos e aprendizados nos últimos anos.

A característica desta análise de cruzamento de fatores dicotômicos tem muita proximidade com um método utilizado para formulação de estratégias chamada de SWOT.

Ela serve para, de uma forma sucinta, desenhar como está o ambiente no entorno da organização no momento atual e colocar na balança as vantagens e as desvantagens da proposta. Desenhando o momento atual, pode-se projetar os cenários para o futuro, ou seja, as estratégias a serem seguidas (NAKAGAWA, 2012).

Desenvolvida na década de 60 na Universidade de Stanford, por Albert Humphrey entre outros, a análise ou matriz SWOT surgiu a partir de uma pesquisa, desenvolvida na época a pedido das empresas, com o intuito de identificar os motivos que causavam as falhas nos planejamentos de longo prazo. Deste estudo surgiu um novo sistema de gestão de mudanças (HUMPHREY, 2005), chamado de análise SWOT ou, em português, matriz FOFA.

É preciso identificar os aspectos bons e ruins no tempo. Segundo Humphrey (2005), o bom se apresenta no presente como Forças (Strengths) e no futuro, é considerado como Oportunidades (Opportunities) que poderão ser exploradas. Por outro lado, o ruim do momento atual é identificado como Fraquezas (Weaknesses) e projetado para amanhã, podem representar Ameaças (Threats), e devem representar os aspectos que precisam de atenção para evitar problemas.

As Forças e as Fraquezas são elementos próprios e internos, enquanto que as Oportunidades e as Ameaças são aspectos externos ou provocados pelo ambiente. Para a aplicação da análise, e num aspecto mais geral, a técnica aconselha a participação ampla de todas as partes envolvidas, incentivando que os participantes contribuam com suas ideias e sugestões e, por fim, que as contribuições sejam

agrupadas e potencializadas conforme os entes envolvidos. No caso administrativo as variáveis seriam produtos, processos, clientes, distribuição, finanças e administração (NAKAGAKA, 2012).

Em nosso caso adaptado, as partes serão as disciplinas envolvidas no contexto da disciplina de geometria, ou seja, a própria geometria, a representação gráfica, o projeto, teoria/história e estruturas/materiais.

Em linhas gerais, essa análise permite concentrar atenção nas forças, reconhecer as fraquezas, aproveitar as oportunidades e se proteger das ameaças. Ela incentiva a análise sob diversas perspectivas, de uma forma simples, direta, objetiva e propositiva com o fim específico de auxiliar no plano de ação ou no plano estruturador para as diretrizes didáticas nas áreas de representação e projeto de arquitetura.

Na análise proposta têm-se a intenção de buscar uma alternativa para a área da geometria frente ao desenvolvimento atual da arquitetura, seus processos, técnicas e desafios na área do ensino dessa disciplina.

3.1. A análise na matriz SWOT

Quais são os pontos fortes na utilização deste tipo de projeto como obra de referência para estudo da geometria? A proposta valida, através da análise dos fatores que podem estruturar uma estratégia didática, os pontos de força, mas também trabalha as suas debilidades. Da mesma forma, busca vislumbrar as oportunidades do campo de ensino e pesquisa que, lado a lado, promovem um cenário apropriado para a discussão, a ponderação e o entendimento.

Quais são os pontos fracos? O otimismo excessivo pode impedir de refletir sobre os pontos frágeis da proposta. É importante reconhecer que os processos não são perfeitos e que há procedimentos que poderiam se tornar melhores. Necessário é reconhecer estas fragilidades e elaborar um plano de ação para tratar caso a caso.

Quais são as oportunidades de melhoria? Importante estabelecer uma estratégia clara, com indicadores e metas bem definidas. Isso possibilita vislumbrar as oportunidades e priorizá-las de acordo com a estratégia do curso.

Quais são as ameaças para essas proposições? Que tipo de problema podemos enfrentar com a sua implementação. Quais são as atitudes que colocam em risco a implantação destas alterações no desenvolvimento dos projetos didáticos na área de geometria dos cursos de arquitetura?

Na análise proposta têm-se a intenção de buscar um melhor posicionamento das disciplinas de geometria, representação e projeto, frente ao desenvolvimento atual da arquitetura, seus processos, técnicas e desafios em geral. Ela busca propor um plano de ação, um plano para estruturar diretrizes didáticas nas áreas de representação e projeto de arquitetura. Na Figura 49 apresentamos um gráfico da matriz que faz o cruzamento destes aspectos apontados.

	Contribui para estratégias da área de representação e projeto	Dificulta as estratégias da área de representação de projeto
Aspectos Internos	S: Quais são os pontos Fortes da proposta? 	W: Quais são os pontos Fracos da proposta? 
Aspectos externos	O: Quais são as oportunidades para a proposta? 	T: Quais são as ameaças para a proposta? 

Figura 49 - Gráfico da Matriz SWOT. Fonte: < <http://info.endeavor.org.br/swot-analise>> com interferência da autora. Acesso em setembro de 2016.

O exercício que aplica esta matriz SWOT consiste em levantar o maior número possível de críticas positivas e negativas, sobre os processos projetual apresentados, através do olhar da geometria, e depois cruzá-las com influências do cenário da arquitetura no nível mais amplo possível dentro da revisão realizada. Com base na amostra das pesquisas realizadas na área, tabuladas na Planilha de Artigos (Anexo I), foram identificados fatores e classificados como Oportunidades (O) e Ameaças (T) e estão relacionados aqui abaixo.

O: Quais são as oportunidades para a proposta?

Após fazer uma varredura no texto do segundo capítulo, no item “2.1. A revisão da literatura”, foram identificados e extratificados, em duas listas, os principais fatores que representam as oportunidades e as ameaças, respectivamente.

As oportunidades simulam as situações em que a inclusão de novas abordagens didáticas, apoiadas pela geometria, promovam o desenvolvimento dos estudantes ao identificar os resultados positivos com a exploração, integração de formas complexas. Assim, os pontos positivos, que foram levantados como oportunidades são:

1. Ao estudar obras relevantes de arquitetura através de modelos geométricos digitais, a técnica construtiva e demais características do edifício podem ser analisados com mais propriedade e clareza;
2. A interpretação das obras de referência escolhidas, através dos estudos tridimensionais digitais, enriquece a análise dos projetos;
3. A modelagem digital torna-se mais ativa e consistente para os alunos;
4. Conhecimentos da geometria para a produção de espaços mais complexos;
5. Para apreender conhecimentos e experiências, de um modo criativo, ou seja, combinando de forma original as ideias já conhecidas, o educador deve conduzir os procedimentos em seus encontros de formas a estimular a prática com liberdade de escolha, sem julgamentos prévios, mas com reflexão crítica;
6. A aquisição de conhecimentos deve ocorrer tanto pela transmissão, método tradicional, como pela reflexão, através da inovação, fazendo com que o pensamento criativo e o crítico sejam inseparáveis;

7. O aluno trabalha combinando elementos contidos em seu repertório e, integrar adequadamente o pensamento criativo e a visão crítica, vai depender da disposição do professor para debater e explorar os seus diferentes aspectos;
8. Quando a base conceitual está mais sólida e já compartilham aspectos estruturais, materiais, funcionais e técnico construtivos;
9. O rigor na prática da criação do ambiente construído baseado no conhecimento anterior, colabora muito com o compartilhamento de conhecimentos entre professor e aluno;
10. Projeto baseado em evidências permite a utilização do pensamento crítico para interpretação e uma conexão importante entre os resultados da investigação e seus processos projetivos;
11. Análise de exemplares, buscando por adaptação, reestruturação e reformulação, identificando seus processos de tipificação e generalização, pode proporcionar um conhecimento difundido e estruturado;
12. Estratégia para uso consciente, explícito e acertado das melhores evidências de pesquisa e prática, que auxilia na tomada de decisões críticas.

T: Quais são as ameaças para a proposta?

Da mesma maneira que os fatores foram identificados no bloco anterior, na relação que segue abaixo são demonstrados os pontos que merecem atenção. Isso porque ao apresentar alguma ameaça, seja pela necessidade de alteração do planejamento didático, seja pelo despreparo do corpo docente, ou ainda por falta de entendimento contextualizado por parte do aluno, o cenário é dinâmico e merece atenção sempre

Assim, os pontos negativos, que foram levantados como potenciais ameaças são:

1. Alterações e as interferências das grandes mudanças na metodologia das práticas profissionais e no ensino de projeto;
2. Perdas reais nas intenções das propostas originais com os processos de simplificação digital;

3. Apoiam-se ainda em recursos clássicos e tradicionais, apesar das mudanças culturais e do desenvolvimento tecnológico.
4. Onde o projeto não mais se ordena, mas sim, se processa como possibilidade da arquitetura;
5. Experimentação no ensino do projeto como descoberta, as estratégias básicas se resumem em: basear seus pontos de partida em proposições simples e questões com múltiplas representações e soluções;
6. Desconexão entre as várias disciplinas e a incorporação de novos conhecimentos sem reflexão e crítica adequados;
7. As novas tecnologias digitais têm auxiliado no desenvolvimento de formas mais complexas;
8. Manipulação topológica dos elementos geométricos no espaço;
9. Atividades que limitem o exercício a uma solução qualquer de um problema conhecido;
10. Alunos tem a tendência de identificarem apenas algumas características no âmbito formal, onde a sedução pela forma se sobressai.

Concluída esta etapa, partimos para o quadrante dos fatores internos, aqueles que vislumbram os pontos fortes e fracos das obras escolhidas e seus desdobramentos.

S: Quais são os pontos fortes da proposta?

1. Os croquis e modelos tridimensionais são grandes catalisadores no seu processo criativo;
2. O planejamento elaborado exaustiva e detalhadamente, dentro de um método específico;
3. A mescla de hiperboloides, paraboloides e suas combinações, levou a exploração, através da combinação e geração de linhas retas;
4. As linhas retas que fazem as concordâncias e a fluidez das suas complexas composições geométricas;
5. O complexo trabalho de aplicação de superfícies regradas;
6. O exercício de ginástica conceitual que aproveita as vantagens das superfícies regradas;

7. As superfícies regradas simbolizam a evolução das superfícies planas para a geometria espacial;
8. A modelagem 3D passou a ser utilizada de forma integrada;
9. Os pontos da sua grelha passam a ser controlados geometricamente;
10. Permite simulações, análise de custos e viabilidade técnico construtiva.

W: Quais são os pontos fracos da proposta?

1. Gaudí - grande a oscilação das análises da obra de Gaudí pela crítica da arquitetura contemporânea;
2. Gaudí - o caráter artesanal de sua obra juntamente com a existência de alguns tabus;
3. Gehry - trata da composição abstrata do objeto em planos e massas escultóricas;
4. Gehry - auxílio do programa CATIA para solucionar complexidades formais de seus projetos;
5. Gehry - O processo de criação passa pela visualização e ajustes com o auxílio da maquete física;
6. Gehry - nas formas mais complexas, a maquete é escaneada e transformada em uma retícula;
7. Gehry - a estrutura metálica de sustentação é composta, na maior parte por elementos de seção reta;
8. Gehry - as formas são geradas através de métodos tradicionais;
9. Gehry - trabalha como um escultor.

Como estratégias resultantes desta matriz, podemos fazer o cruzamento de alguns fatores para potencializar ainda mais a sua capacidade analítica. Para ilustrar o modelo desta matriz avançada, ver a Figura 50. Na sequência são apresentadas algumas combinações, seguindo a indicação da matriz.



Figura 50 - Gráfico da Matriz SWOT Avançada. Fonte: <<http://institutomontanari.com.br/planilha-analise-swot/download/swotavancada.pdf>> com interferência da autora. Acesso em setembro de 2016.

FORÇAS X OPORTUNIDADES

- Os croquis e modelos tridimensionais... grandes catalisadores no seu processo criativo **X** Ao estudar obras relevantes de arquitetura através de modelos geométricos digitais, a técnica construtiva e demais características do edifício podem ser analisados com mais propriedade e clareza.
- O exercício de ginástica conceitual que aproveita as vantagens das superfícies regradas **X** A interpretação das obras de referência escolhidas, através dos estudos tridimensionais digitais, enriquece a análise dos projetos.
- As superfícies regradas simbolizam a evolução das superfícies planas para a geometria espacial **X** Conhecimentos da geometria para a produção de espaços mais complexo.
- A modelagem 3D passou a ser utilizada de forma integrada **X** Para apreender conhecimentos e experiências, de um modo criativo, ou seja, combinando de forma original as ideias já conhecidas, o educador deve conduzir os procedimentos em seus

encontros de formas a estimular a prática com liberdade de escolha, sem julgamentos prévios, mas com reflexão crítica:

- Permite simulações, análise de custos e viabilidade técnico construtiva **X** Quando a base conceitual está mais sólida e já compartilham aspectos estruturais, materiais, funcionais e técnico construtivos:

FRAQUEZAS (W) **X OPORTUNIDADES (O)**

- Gaudí - grande a oscilação das análises da obra de Gaudí pela crítica da arquitetura contemporânea **X** Projeto baseado em evidências permite a utilização do pensamento crítico para interpretação e uma conexão importante entre os resultados da investigação e os processos investigação.

- Gaudí - o caráter artesanal de sua obra juntamente com a existência de alguns tabus **X** Ao estudar obras relevantes de arquitetura através de modelos geométricos digitais, a técnica construtiva e demais características do edifício podem ser analisados com mais propriedade e clareza.

- Gehry - trata da composição abstrata do objeto em planos e massas escultóricas **X** A interpretação das obras de referência escolhidas, através dos estudos tridimensionais digitais, enriquece a análise dos projetos.

- Gehry - O processo de criação passa pela visualização e ajustes com o auxílio da maquete física **X** A modelagem digital torna-se mais ativa e consistente para os alunos.

- Gehry - nas formas mais complexas, a maquete é escaneada e transformada em uma retícula **X** Para apreender conhecimentos e experiências, de um modo criativo, ou seja, combinando de forma original as ideias já conhecidas, o educador deve conduzir os procedimentos em seus encontros de formas a estimular a prática com liberdade de escolha, sem julgamentos prévios, mas com reflexão crítica.

FORÇAS X AMEAÇAS

- O planejamento elaborado exaustiva e detalhadamente, dentro de um método específico X Desconexão entre as várias disciplinas e a incorporação de novos conhecimentos sem reflexão e crítica adequados.
- O exercício de ginástica conceitual que aproveita as vantagens das superfícies regradas X Alterações e as interferências das grandes mudanças na metodologia das práticas profissionais e no ensino de projeto.
- As superfícies regradas simbolizam a evolução das superfícies planas para a geometria espacial X Atividades que limitem o exercício a uma solução qualquer de um problema conhecido.
- A modelagem 3D passou a ser utilizada de forma integrada X Alunos tem a tendência de identificarem apenas algumas características no âmbito formal, onde a sedução pela forma se sobressai.
- Permite simulações, análise de custos e viabilidade técnico construtiva X Apoiam-se ainda em recursos clássicos e tradicionais, apesar das mudanças culturais e do desenvolvimento tecnológico.

FRAQUEZAS X AMEAÇAS

- Gaudí - o caráter artesanal de sua obra juntamente com a existência de alguns tabus X Alterações e as interferências das grandes mudanças na metodologia das práticas profissionais e no ensino de projeto
- Gehry - trata da composição abstrata do objeto em planos e massas escultóricas X Apoiam-se ainda em recursos clássicos e tradicionais, apesar das mudanças culturais e do desenvolvimento tecnológico
- Gehry - auxílio do programa CATIA para solucionar complexidades formais de seus projetos X Perdas reais nas intenções das propostas originais com os processos de simplificação digital;

- Gehry - O processo de criação passa pela visualização e ajustes com o auxílio da maquete física **X** As novas tecnologias digitais têm auxiliado no desenvolvimento de formas mais complexas;

- Gehry - trabalha como um escultor **X** Experimentação no ensino do projeto como descoberta, as estratégias básicas se resumem em: basear seus pontos de partida em proposições simples e questões com múltiplas representações e soluções;

Como um resumo da análise, podemos apresentar em linhas gerais as principais estratégias: formar novas aptidões exigidas pelo mercado, desenvolver a inteligência espacial, confrontar com a imaturidade dos alunos, requerer uma reflexão crítica permanente de todo o corpo docente, confrontar os medos, buscar novos materiais alternativos

Como resultado da matriz, a planilha demonstra o ambiente em que a proposta está inserida, apresentado uma análise dos fatores internos e externos, com gráficos e estratégias para todos os itens. A precisão da análise vai indicar se a proposta é compatível ou se compromete muito no presente. Neste caso, as estratégias, indicando que as forças e as oportunidades de trabalhar com esta proposta são superiores aos riscos e debilidades do trabalho.

No cruzamento destes fatores, elabora-se o lançamento de diretrizes que irão refletir as necessidades apresentadas e apontar quais áreas do conhecimento ou disciplinas, deverão se envolver na contextualização destes estudos:

- a. Utilizar obras referenciais, que exploraram a geometria complexa no seu processo compositivo;
- b. Utilizar interações entre as mídias digital e tradicional, através de estudos de modelos 3D;
- c. refletir sobre o uso da modelagem paramétrica baseada em referencias geométricas;
- d. experimentar a materialidade construtiva a partir de propostas compatilhadas entre disciplinas do curso;
- e. identificar diferentes tipos de superfícies curvas e suas operações de adição e subtração;

- f. atualizar a reflexão crítica do corpo docente acerca das novas tecnologias e tendências da arquitetura;
- g. demonstrar que a complexidade pode ser demonstrada através do estudo da geometria;
- h. identificar o crescente avanço das técnicas digitais e seu aporte de qualidade em projetos;
- i. explorar o formalismo representativo complexo e o reuso do conhecimento;
- j. incrementar análise tradicional de obras contribuindo com uma atitude reflexiva dos alunos;
- k. contribuir na aplicação de tecnologias digitais para consolidação de um novo mercado;
- l. propor um modelo conceitual que enfatize a aquisição explícita de conhecimento;
- m. estudar e revisar o embasamento geométrico dos projetos de referência e suas características;
- n. identificar a geometria complexa presente na obra como agenda pedagógica na área;
- o. utilizar as características artesanais enfatizando o processo de geração de idéias;
- p. atualizar a base dos materiais e suas performances estruturais e ambientais;
- q. extrair da obra a sua essencialidade geométrica de forma contextualizada;
- r. adequar as diferentes fases do projeto à experimentação com modelagem e prototipagem.

4. Resultados e discussão

A variedade de situações promovidas, desde o momento em que é feito o lançamento de uma proposta, passando por todos os estudos de variáveis e alternativas até conseguir encontrar o ponto ótimo, que corresponda aos anseios propostos inicialmente, vai um longo caminho. O estado de excelência requer reflexão, pertinência e contexto (OXMAN, 1999 e FLORIO, 2014).

No ambiente da academia não é diferente. Como já foi citado neste trabalho, por Rivka Oxman (1999) e Wilson Florio (2014), os trabalhos devem sempre ser acompanhados por uma reflexão crítica pertinente, e com isso se transforma em férteis campos de estudo. Não importa se o enfoque é no detalhe ou no todo, se a pertinência e contextualização é explícita ou não, e qual efeito a obra escolhida proporciona. É percebido e aceito que uma análise completa de projeto/obra, que incorpore seu contexto temporal, seus aspectos de inovação tanto técnicos como conceituais, seus processos, suas variáveis compositivas e suas relações paramétricas, permitem a compreensão da origem dos processos digitais e generativos, e contribuem para o desenvolvimento do ensino da arquitetura através da incorporação e conhecimento dos seus processos.

Vivemos agora diante de um período intermediário de uma revolução nas formas de representação e de projetar, onde as regras generativas podem ser programadas numérica e eletronicamente. E logo partindo para a próxima fase, onde os projetos já saem para o corte e montagem automaticamente.

Esse é um potencial extraordinário para o desenho, para a geometria, para os materiais e estruturas. Todos os aspectos que envolvem o edificar estão diante de um momento reflexivo. É necessário retornar à base conceitual, conhecê-la bem, para conseguir avançar para o próximo nível, quando os arquitetos tenderão a dominar as regras fundamentais que dão origem as estruturas existentes.

Ao longo desse trabalho falou-se dos aspectos ligados às ameaças, representados aqui pelas duas obras objeto do estudo. Mas este aspecto pode ser expandido para qualquer obra ou minimizado para todas elas se houver uma investigação teórica, um entendimento do conceito que a envolve. Os bons projetos

têm suas ideias formais decorrentes desta profunda investigação. Podemos concluir, então, que adotar o uso das formas complexas de antemão, como premissa para solução, será sempre uma ameaça. Ela precisa se justificar através da investigação.

Outros aspectos, dentro desta mesma linha de questionamento, é a utilização destas obras expressivas, e aqui segue a obra de Frank Gehry exemplarmente, veiculada através das imagens midiáticas, sem qualquer cuidado ou explicação didática sobre suas diretrizes compositivas. Apesar de, neste exemplo, o arquiteto ser chamado de escultor, não elimina a pertinência do seu trabalho a um controle formal rigoroso.

A existência de um repertório geométrico, contribui para ter-se um olhar educado para a extração de lógicas compositivas, ou para a produção de composições embasados nessa lógica. Ignorar essa premissa pode promover o uso de formas complexas de maneira gratuita.

Para tanto, é necessário profundo investimento no aprendizado das lógicas que propiciem o reconhecimento das tecnologias que garantem este controle preciso.

Atualmente a tradição ainda perdura no contexto de disciplinas de projeto, que por um lado investem no conceito e pelo outro investem nas tecnologias dos materiais e tecnologias construtivas. Mas existe, no meio do processo projetual a necessidade de explicitação das suas lógicas. Com a inclusão das novas tecnologias, os sistemas generativos utilizam-se de algoritmos para a geração formal. Isso permite poder controlar aspectos importantes na arquitetura, que passam por sustentabilidade, conforto, riqueza compositiva, entre outros.

Para o ensino, trazer à tona os processos criativos, seu embasamento e lógicas projetuais é fundamental, pois permite seu registro e replicação.

Para qualquer momento didático de projeto de arquitetura, a ameaça está em não compreender e não explicar as lógicas empregadas no processo que de alguma maneira conduziram a uma forma tão particular.

O momento em que o estudante compreende a maneira como foi produzida a solução formal, por exemplo, a utilização do conceito de recursão da forma do terreno

para obter harmonia com o local, isto pode ser considerado um aspecto de força como foi utilizado na matriz da análise aplicada.

Utilizar o conceito de anamorfismo, para conseguir as concordâncias entre as curvas utilizadas sob diferentes pontos de vista, ou entender os recursos de proporção para harmonizar também com o entorno, que o arquiteto utilizou, pode ser indicado como força no processo e servir para a sedimentação de conceitos na formação dos alunos.

Quando, ao apresentar uma obra como a de Gaudí, não demonstrar como foi desenvolvido o processo projetivo e construtivo daquela forma, pode apresentar-se como uma ameaça.

Assim, a discussão levanta alguns pontos, por exemplo, que os discursos didáticos devem enfatizar o domínio da geometria por Gaudí e seu método escultórico de projeto, que por utilizar as regras geométricas com rigor, permite atualmente, por exemplo, que a construção do seu templo seja feito através de equipamentos de última geração.

Outro aspecto é que os estudantes precisam ter claro que quanto maior o repertório geométrico, mais terão condições de encontrar soluções que traduzam o conceito que tem em mente. Neste caso, o exemplo do museu de Gehry apresenta-se como um exemplar.

Assim, a partir do que foi encontrado nas revisões sobre estas duas obras, concluímos que elas podem servir de referencial didático, tendo em vista que resultam de processos projetuais que se apoiam em um conhecimento geométrico passível de ser demonstrado através de gráficos e modelos, tornando-se ricos exemplares de estudo.

No caso do Gehry a geometria está mais envolvida por outros aspectos mais sutis, derivados de sua habilidade escultórica, resultante de sua profícua trajetória profissional.

O fato de conseguir identificar lógicas no emprego de geometrias complexas, em ambos os casos, permite demonstrar a exigência de maturidade na maneira de

projetar, como anuncia a necessidade de evidenciar sempre a intencionalidade, de forma clara.

Pode surgir o dilema de porque se preocupar com descritibilidade geométrica quando as máquinas podem fazer todas as operações ligadas às superfícies de forma livre com igual facilidade, mas ele é falso.

Ocorre que a geometria projetiva tem um alto valor matemático e filosófico e se aplica bem em nossa era de design digital, independentemente dos processos generativos e de automação que encerram.

Evitando a consideração da geometria matemática, estudantes e arquitetos podem ser confundidos com simples escultores. Dessa forma, esta ameaça pode ser controlada com a formação mais robusta na área da geometria e da matemática.

Este é um tema de profunda importância dentro da academia, ligado com o futuro da formação de nossos estudantes e sua posterior atuação profissional no mercado. Cabe, então, a sugestão desta temática para futuras pesquisas na área.

Referências bibliográficas

ADDIS, Bill. **Edificação: 3000 anos de projeto, engenharia e construção**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 640p.

ALSINA, Claudi; GOMÉZ-SERRANO, Josep; GIRALT-MIRACLE, Daniel; BUXADÉ, Carles; MARGARIT, Joan; GONZÁLEZ, Josep-Lluís; CASALS, Albert; BONET i ARMENGOL, Jordi. **Gaudí A procura da forma**. Exposição. Curadoria e Coordenação de publicações, Instituto Tomie Ohtake, Cadernos do olhar, Ação Educativa do Instituto Tomie Ohtake. São Paulo: Gráfica Editora Aquarela, 2004. 204p.

ARANTES, Pedro Fiori. **Arquitetura na era digital–financeira: desenho, canteiro e renda da forma**. São Paulo: Editora 34, 2012. 368p.

BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70 – Brasil, 2011. 280p.

BEJAN, Adrian. **The Golden Ratio Predicted: vision, cognition and locomotion as a single design in nature**. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, WIT Press, Ashurst, UK. Vol. 4, Issue 2, 2009. 97-104. Disponível em: <<http://www.witpress.com/elibrary/dne-volumes/4/2/403>>. Acesso em: agosto de 2016.

BERLIN, Jeremy. **The Big Idea: Biomimetic Architecture - Gaudí's Masterpiece**. National Geographic Magazine. December 2010. Disponível em: <<http://ngm.nationalgeographic.com/2010/12/big-idea/gaudi-text/1>> Acesso em: setembro de 2016.

BERGÓS i MASSÓ, Joan; BASSEGODA i NONELL, Joan; GIRALT-MIRACLE, Daniel; CRIPPA, Maria Antonietta; BERGÓS, Jordi Ribera. **Gaudí El hombre y la obra**. Madrid: Lunwerg Editores, 2011. 365p.

BORDA, Adriane Borda Almeida da Silva; ROCHA, Luciana Sandrini. **Entre o discurso e os elementos objetivos que descrevem a forma do Museu Guggenheim de Gehry**. Anais do IV Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – IV ENANPARQ. Porto Alegre, 25 a 29 de julho de 2016. Disponível em: <<https://enanparq2016.files.wordpress.com/2016/09/s11-05-rocha-l-silva-a.pdf>> Acesso em: agosto de 2016.

BORDA, Adriane Borda Almeida da Silva; NUNES, Cristiane; SILVA, Juçara. **Entre a geometria, as tecnologias de representação e o projeto: reflexões sobre um discurso didático para a Arquitetura**. In: SIGRADI – Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital – Design in Freedom, Montevideo, 2014.

BORDA, Adriane Borda Almeida da Silva; PIRES, Janice de Freitas; NUNES, Cristiane dos Santos; HEIDRICH, Felipe Etchegaray. **Processos de ensino aprendizagem da geometria de superfícies curvas em Arquitetura e Design**. Anais do Graphica 2013, XXI Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico e X International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design, “Expressão Gráfica - Tecnologia e Arte para Inovação”, Florianópolis, 2013.

Disponível em: <<http://wright.ava.ufsc.br/~grupohipermidia/graphica2013/trabalhos/PROCESSOS%20DE%20ENSINO%20APRENDIZAGEM%20DA%20GEOMETRIA%20DE%20SUPERFICIES%20CURVAS%20EM%20ARQUITETURA%20E%20DESIGN.pdf>>. Acesso em: julho 2015.

BORDA, Adriane Borda Almeida da Silva; VASCONSELOS, Tassia Borges de. **Identificação de geometrias implícitas na Arquitetura a partir de realidade aumentada**. SIGraDi 2013 XVII Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital: Knowledge-based Design, Valparaíso, p.44-48, 2013. Disponível em: <<https://dl.dropboxusercontent.com/u/62599190/SIGraDi2013.pdf>>. Acesso em: julho 2014.

BORDA, Adriane Borda Almeida da Silva; PIRES, Janice de Freitas. **Inserção da representação gráfica digital em estágios iniciais da prática projetual de arquitetura**. Educação Gráfica, v.16, n.02, 2012. Disponível em: <<http://www.educacaografica.inf.br/artigos/insercao-da-representacao-grafica-digital-em-estagios-iniciais-da-pratica-projetual-de-arquitetura>>. Acesso em: julho 2015.

BORDA, Adriane Borda Almeida da Silva; PIRES, Janice de Freitas; VASCONSELOS, Tassia Borges de; NUNES, Cristiane dos Santos. **Trajetórias de aprendizagem em Representação Gráfica Digital**. Educação Gráfica, Ano 2012, v. 16, n. 02. Disponível em: <<http://www.educacaografica.inf.br/artigos/trajetorias-de-aprendizagem-em-representacao-grafica-digital>>. Acesso em: agosto de 2015.

BORDA, Adriane Borda Almeida da Silva; PIRES, Janice de Freitas; VASCONSELOS, Tassia Borges de. **O desenho (didático) para o insight**. SIGRADI 2012 XVI Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital, Fortaleza, 2012. 277-280. Disponível em: <http://cumincaad.scix.net/data/works/att/sigradi2012_109.content.pdf>. Acesso em: abril de 2015.

BURRY, Jane; BURRY, Mark. **The new mathematics of Architecture**. London: Thames & Hudson, 2012. 272p.

BURRY, Mark. **Geometry working beyond effect**. Architectural Design, London, v. 212, p.80-84, July/August 2011.

BURRY, Mark C.; GOMEZ, Josep; COLL, Jordi; MELERO, Juan C. **La Sagrada Família. De Gaudí al CAD**. Barcelona: Edicions UPC, 1996. 166p.

CARMEL-ARTHUR, Judith. **Antoni Gaudí – Arquiteto Visionário do Sagrado e do profano**. São Paulo: Cosac Naify, 2000. 80p.

CELANI, Gabriela; RIGHI, Thales Filipini. **Esboços na era digital – uma discussão sobre as mudanças na metodologia de projeto arquitetônico**. XIV CCIA Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura in SIGraDi 2008 - 12th Congreso de la Sociedad Ibero Americana de Gráfica Digital – Integración y Desarrollo, Havana, 2008. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~la_pac/papers/righi-celani-2008.pdf>. Acesso em: julho 2014.

COHEN, Jean-Louis. **O futuro da arquitetura desde 1889 – Uma história mundial**. São Paulo: Cosac Naify, 2013. 528p.

COSTA, Fernando José de Medeiros. **Do modelo geométrico ao modelo físico: O tridimensional na educação do Arquiteto e Urbanista**. 2013. 235f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – PPGAU, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12312/1/FernandoJMC_TESE.pdf> Acesso em: agosto 2015.

DAVIS, Daniel. **Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture**. 2013. 243f. PhD dissertation, RMIT University. Disponível em <http://www.danieldavis.com/papers/danieldavis_thesis.pdf>. Acesso em: outubro de 2015.

ELAM, Kimberly. **Geometria do design: estudos sobre proporção e composição**. São Paulo: Cosac Naify, 2014. 108p.

EMANUEL, Muriel (Ed.). **Contemporary Architects**. London: Macmillan Press, 1988. 933p.

FERRO, Sérgio. **Arquitetura e trabalho livre**. São Paulo: Cosac Naify, 2013. 456p.

FLORIO, Wilson. **Reflexão sobre residências emblemáticas a partir simulações estáticas/dinâmicas e a fabricação digital**. Blucher Design Proceedings XVIII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics - SIGraDi: Design in Freedom, v.1, n.8, p.311-315, 2014. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br/designproceedings/sigradi2014/0061.pdf>>. Acesso em: agosto 2015.

FLORIO, Wilson. **Análise do processo de projeto sob a teoria cognitiva: sete dificuldades no atelier**. Arquitetura Revista, Unisinos, São Leopoldo, v.7, n. 2, p.161-171, 2011. Disponível em: <<http://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/arq.2011.72.06/640>>. Acesso em: julho 2015.

FLORIO, Wilson – **Modelagem paramétrica, criatividade e projeto: duas experiências com estudantes de Arquitetura**. Gestão & Tecnologia de Projetos, IAU/USP, v.6, n.2, p.43-66, 2011. Disponível em: <<http://www.iau.usp.br/gestaodeprojetos/index.php/gestaodeprojetos/article/view/211/234>> Acesso em: julho 2014.

GANHÃO, Susana Maria Gouveia Rosado. **Fractais na arquitetura**. Artitextos. Lisboa: CEFA, n.8, p.261-271, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.5/1502>> Acesso em: agosto de 2016.

HALABI, Maruan Camille. **Los inicios de la aplicación de la tecnología CAM en la arquitectura: la Sagrada Familia**. 2008. 361f. Tese (Doutorado em Arquitetura Biodigital) – ESARQ, Universitat Internacional de Catalunya, Barcelona. Disponível em: <<http://www.tdx.cat/handle/10803/9330>>. Acesso em: março de 2016.

HAMILTON, D. Kirk; WATKINS, David H. **Evidence-Based Design for Multiple Building Types**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008. 272p.

HELLMEISTER, Luiz Antonio Vasques; DEGANUTTI, Roberto; ROSSI, Marco Antonio. **As tecnologias assistidas por computador como elemento de ensino e aprendizagem nos cursos de artes, design e engenharia**. Anais do Graphica

2013, XXI Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico e X International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design, “Expressão Gráfica - Tecnologia e Arte para Inovação”, Florianópolis, 2013. Disponível em: <<http://wright.ava.ufsc.br/~grupohipermedia/graphica2013/trabalhos/AS%20TECNOLOGIAS%20ASSISTIDAS%20POR%20COMPUTADOR%20COMO%20ELEMENTO%20DE%20ENSINO%20E%20APRENDIZAGEM%20NOS%20CURSOS%20DE%20ARTES%20DESIGN%20E%20ENGENHARIA.pdf>>. Acesso em: julho 2015.

HIGGINS, Julian PT; GREEN, Sally (editors). **Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions**. The Cochrane Collaboration. Version 5.1.0, 2011. Disponível em: <<http://handbook.cochrane.org/>>. Acesso em: agosto 2015.

HUMPHREY, Albert S.; SCHWAAR, Robert (editors). **SWOT Analysis for Management Consulting**. SRI Alumni Newsletter (SRI International). California: SRI Alumni Association. December, 2005. 16p. Disponível em: <<https://www.sri.com/sites/default/files/brochures/dec-05.pdf>>. Acesso em: abril 2016.

LACOMBE, Octavio. **O diagrama fundamental**. Risco - Revista Online de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, n.5, p.203-207, jan.2007. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/risco/article/viewFile/44702/48330>>. Acesso em: agosto 2015.

LACOMBE, Octavio. **Diagramas digitais: pensamento e gênese da arquitetura mediada por tecnologias numéricas**. 2006. 247f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – FAU, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16136/tde-09082006-143023/pt-br.php>>. Acesso em: julho 2015.

LIMA, Mônica Maria Fernandes de; VELOSO, Maísa Fernandes Dutra. **A geometria e ensino do projeto arquitetônico: uma investigação sobre a produção de teses e dissertações**. VI Seminário Nacional sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura - PROJETAR 2013, Salvador, 2013. Disponível em: <<http://projedata.grupoprojetar.ufrn.br/dspace/bitstream/123456789/1839/1/E1018.pdf>>. Acesso em: julho 2015.

LINDSEY, Bruce. **Digital Gehry: material resistance/digital construction**. Basel: Switzerland: Birkhäuser Publishers for Architecture, 2001. 93p.

MAHFUZ, Edson da Cunha. **Banalidade ou correção: dois modos de ensinar arquitetura e suas consequências**. V Seminário Nacional sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura - PROJETAR 2011 - Belo Horizonte/MG, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/123456789/1719>> e <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/14.159/4857>>. Acesso em: agosto de 2014.

MAIDANA, Nidia B., BORTOLOTTI, Leonardo, BERTERO, Claudia. G. **Representación, lenguajes gráficos y proyectación: lo que se juega en la enseñanza del diseño**. Revista Eletrônica de Arquitetura e Urbanismo, n.10, p.56-66, 2013. Disponível em: <<http://www.usjt.br/arq.urb/numero-10/6-tematico-nidia-b-maidana.pdf>>. Acesso em: julho 2015.

MARTINELL BRUNET, Cesar. **Conversaciones con Gaudí**. Barcelona: Ediciones Punto Fijo, 1969.132p.

MITCHELL, William J. **A lógica da arquitetura: projeto, computação e cognição**. Tradução Gabriela Celani. Campinas: Editora Unicamp, 2008. 303p.

MONEO, Rafael. **Inquietação teórica e estratégia projetual na obra de oito arquitetos contemporâneos**. São Paulo: Cosac Naify, 2008. 368p.

NAKAGAWA, Marcelo. **Ferramenta: Análise SWOT (Clássico)**. Estratégia e Gestão. Movimento Empreenda, 2012. Disponível em: <http://cms-empreenda.s3.amazonaws.com/empreenda/files_static/arquivos/2012/06/18/ME_Analise-Swot.PDF> Acesso em outubro de 2016.

OSTWALD, Michael J.; VAUGHAN, Josephine. **The fractal dimension of Architecture**. Switzerland: Birkhäuser, 2016, 423p. Disponível em: <<http://link.springer.com/book/10.100%2F978-3-319-32426-5>> Acesso em outubro de 2016.

OSTWALD, Michael J. **Fractal Architecture: late twentieth century connections between Architecture and Fractal Geometry**. Nexus Network Journal, Vol. 3, n.1, p.73-83, 2001. Disponível em: <<http://link.springer.com/search?query=ostwald+The+fractal+dimension+of+Architecture>> Acesso em outubro de 2016.

OXMAN, Rivka. **Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium**. Design Studies, Vol. 9 Issue 2, p.99-120, 2008. Disponível em: <http://tx.technion.ac.il/~rivkao/topics/publications/Oxman_2008_Design-Studies.pdf>. Acesso em: julho 2015.

OXMAN, Rivka. **Educating the designerly thinker**. In W. M. McCracken, C. M. Eastman and W. Newsletter (eds.) Special Issue on Cognition in Design Education, Design Studies, London, v.20, p.105-122, 1999. Disponível em: <http://tx.technion.ac.il/~rivkao/topics/publications/Oxman_1999_Educating%20the%20Designerly%20Thinker%20Design-Studies.pdf>. Acesso em: julho 2015.

PLAZA, Juan García; GÓMEZ, Rocio Alvíz; MUNAR, Carmen Mut. **La influencia de Gaudí en Calatrava**. Ensaio. Site: <http://www.paissano.com> em 28/12/2014. Disponível em: <<http://www.paissano.com/la-influencia-de-gaudi-en-calatrava/>>. Acesso em: março 2016.

POLLALIS, Spiro N.; GONZALES-PULIDO, Francisco; VAGGIONE, Pablo; ACKLEY, Laura A. **Managing the construction of the Museo Guggenheim Bilbao**. Center for Design Informatics, Harvard Design School, 2002. Disponível em: <http://www.uniroma2.it/didattica/ACALAB2/deposito/case_Guggenheim.pdf> Acesso em agosto de 2016.

POTTMANN, Helmut; ASPERL, Andreas, HOFER, Michael; KILIAN, Axel. **Architectural Geometry**. Pennsylvania: Bentley Institute Press, 2007. 744p.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**.

2.ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 276p. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/profronilson/e-book-metodologia-do-trabalho-cientifico27755020>>. Acesso em: agosto 2015.

PUPO, Regiane Trevisan. **Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte**. Revista eletrônica PARC-UNICAMP, v.1, n.3, p.80-98, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v1i3.8634511>>. Acesso em: julho 2014.

RÊGO, Rejane de Moraes. **Educação Gráfica para o processo criativo projetual arquitetônico: as relações entre a capacidade visiográfica-tridimensional e a utilização de instrumentos gráficos digitais para modelagem geométrica**. 2008. 320f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - PPG-AU, Universidade Federal da Bahia, Salvador. Disponível em: <http://recife.ifpe.edu.br/recife/tese_rejane_moraes_rego.pdf>. Acesso em: abril de 2015.

RODRIGUES, Daniel Wyllie Lacerda; RODRIGUES, Maria Helena Wyllie Lacerda. **Desafiando o pensamento geométrico**. Anais do Graphica 2013, XXI Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico e X International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design, "Expressão Gráfica - Tecnologia e Arte para Inovação", Florianópolis, 2013. Disponível em: <<http://wright.ava.ufsc.br/~grupohipermidia/graphica2013/trabalhos/DESAFIANDO%20O%20PENSAMENTO%20GEOMETRICO.pdf>>. Acesso em: julho de 2015.

SALA, N. **Fractal Geometry and Architecture: Some Interesting Connections**. Eco-Architecture: Harmonisation between Architecture and Nature. WIT Press, Ashurst, UK. Vol. 86, 2006, p.164-173. Disponível em: <<http://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/86/16345>>. Acesso em: agosto de 2016.

SALINGAROS, Nikos A. (2004). **Anti-Architecture and Deconstruction**. Solingen: Umbau-Verlag, 2004. 200p. Disponível em: <https://www.academia.edu/188199/ANTI-ARCHITECTURE_AND_DECONSTRUCTION_description_> Acesso em outubro de 2016.

SILVA, Elvan. **Novos e velhos conceitos no ensino do projeto arquitetônico**. Anais do I Seminário Nacional sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura - PROJETAR 2003, Natal/RN. PPGAU/UFRN, 2003. Disponível em: <<http://projedata.grupoprojetar.ufrn.br/dspace/bitstream/123456789/1140/1/MR27.pdf>>. Acesso em: novembro de 2015.

SMITH, Rick. **Technical Notes from Experiences and Studies in Using Parametric and BIM Architectural Software**. Site Virtual Build Technologies, 2007. Published 4 March. Disponível em: <<http://www.vbtllc.com/images/VBTTechnicalNotes.pdf>>. Acesso em: agosto 2016.

SYKES, A. Krista (org). **O campo ampliado da arquitetura: Antologia teórica 1993-2009**. São Paulo: Cosac Naify, 2013. 416p.

VAN BRUGGEN, Coosje. **Frank O. Gehry. El Museu Guggenheim Bilbao**. Nueva York: Publicaciones del Museo Guggenheim, 2011. 211p.

VAZ, Carlos Eduardo Verzola; PEREIRA, Natália Silva. **Parametrismo e ensino de geometria – as superfícies de Felix Candela**. Anais do Graphica 2013, XXI Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico e X International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design, “Expressão Gráfica - Tecnologia e Arte para Inovação”, Florianópolis, 2013. Disponível em: <<http://wright.ava.ufsc.br/~grupohipermidia/graphica2013/trabalhos/PARAMETRISMO%20E%20ENSINO%20DE%20GEOMETRIA%20AS%20SUPERF%C3%8DCIES%20DE%20FELIX%20CANDELA.pdf>>. Acesso em: julho 2015.

VAZ, Carlos Eduardo Verzola; PEREIRA, Natalia. **A modelagem paramétrica e o ensino de geometria descritiva – as superfícies de Felix Candela**. SIGRADI 2012 XVI Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics, Fortaleza, p.216-218, 2012. Disponível em: <http://cumincad.scix.net/data/works/att/sigradi2012_109.content.pdf>. Acesso em: abril 2015.

VIDIGAL, Emerson José. **Ensino de projeto arquitetônico: um estudo sobre as práticas didáticas no curso de arquitetura e urbanismo da Universidade Federal do Paraná**. 2006. 350f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). FAUUSP, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16138/tde-18012011-111136/pt-br.php>>. Acesso em: agosto de 2015.

YIEH, Eric. **Back to the future: Frank Gehry's Guggenheim Museum Bilbao contextualized**. p.5-21. In the Boothe Prize Essays 2003. Stanford: Stanford University, 2003, p.186. Disponível em: <<http://web.stanford.edu/group/boothe/0203/boothe0203.pdf>> Acesso em agosto de 2016.

ZAERA-POLO, Alejandro. **Arquitetura em Diálogo: Alejandro Zaera-Polo**. São Paulo: Cosac-Naify, 2015, 352p.

“Tell me and I forget. Teach me and I remember. Involve me and I learn.”
Benjamin Franklin

ANEXOS

ANEXO I - Planilha dos artigos levantados como amostra na revisão da literatura.

Id	Ano	Autor(es)	Local	Título do trabalho	Objetivos	Explicita o propósito de abordar formas complexas a partir de estudos de caso?	Explicita o propósito de desenvolver a inteligência espacial?	Diferencia estágios apropriados de formação p/ geometrias complexas?	Explicita o propósito de promoção ou restrição do uso de formas complexas junto ao processo formativo?	Constrói discursos integrados entre a área da geometria e tecnologias p/ controle das formas
1	2008	Thales RIGHI e Gabriela CELANI	Sigradi / Cuba	Esboços na era digital – Uma discussão sobre as mudanças na metodologia de projeto arquitetônico	Apresentar uma discussão sobre a importância do desenho no processo cognitivo dos arquitetos e as ferramentas que permitem a interação entre as mídias tradicional e digital.		●			●
2	2014	Wilson FLORIO	Sigradi / Montevideo	Reflexão sobre residências emblemáticas a partir simulações estáticas/dinâmicas e a fabricação digital.	A partir do relato da experiência de ensino, realizada em 2012, com três disciplinas de representação, na Unicamp, contribuir na reflexão e debate da aplicação de tecnologias digitais na análise de edifícios emblemáticos na arquitetura. Blemáticas. O objetivo principal foi estudar obras de arquitetura relevantes a partir das tecnologias digitais.	●	●	●	●	●
3	2007	Octavio LACOMBE	Vitruvius / Arquitectos	O projeto como descoberta.	Questionar o método de ensino de projeto apresentando um novo paradigma que utiliza estratégias básicas para a experimentação no ensino do projeto, com múltiplas representações e soluções digitais, baseadas na materialidade construtiva e na dinâmica relacional, transformando o processo de projetar.		●		●	●
4	2011	Wilson FLORIO	Gestão & Tecnologia de Projetos/IAU USP	Modelagem paramétrica, criatividade e projeto: duas experiências com estudantes de Arquitetura	Refletir sobre o uso da modelagem paramétrica para estímulo da criatividade e desenvolvimento de projetos, conciliando a inclusão dos novos conteúdos com os processos artesanais, mantendo as experiências sensoriais importantes.	●	●		●	●
5	1999	Rivka OXMAN	Design Studies	Educating the designerly thinker.	Propor um modelo conceitual para o ensino de projeto que enfatiza a aquisição de conhecimento explícito, explorando o formalismo representativo complexo e o reuso do conhecimento.		●		●	●
6	2013	Luiz Antonio HELLMMEISTER et al.	Graphica'13/ Florianópolis	As tecnologias assistidas por computador como elemento de ensino e aprendizagem nos cursos de artes, design e engenharia.	Discutir o uso das tecnologias assistidas por computador e seus reflexos no ensino, indicando a necessidade de treinamento dos professores e adoção definitiva dessas tecnologias permitindo a ruptura das barreiras de comunicação entre professores e alunos.				●	
7	2008	Rivka OXMAN	Design Studies	Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium.	Apresentar e discutir o desenvolvimento atual nos discursos de arquitetura, teoria do projeto, modelos de projeto e técnicas digitais e suas relações para a pedagogia de projeto; reendereçar a necessidade de integrar o projeto digital no ensino de projeto arquitetônico investigando várias formas de agenda pedagógica.	●	●		●	●
8	2014	Adriane BORDA et al	Sigradi / Uruguai	Entre a geometria, as tecnologias de representação e o projeto: reflexões sobre um discurso didático para a Arquitetura.	Explicitar os discursos didáticos que defendem o investimento em repertórios tecnológicos geométricos e contrapor com os discursos que sustentam o uso das tecnologias tradicional na formação do arquiteto.		●		●	●

Id	Ano	Autor(es)	Local	Título do trabalho	Objetivos	Explicita o propósito de abordar formas complexas a partir de estudos de caso?	Explicita o propósito de desenvolver a inteligência espacial?	Diferencia estágios apropriados de formação p/ geometrias complexas?	Explicita o propósito de promoção ou restrição do uso de formas complexas junto ao processo formativo?	Constrói discursos integrados entre a área da geometria p/ tecnologias p/ controle das formas
9	2013	Fernando José de Medeiros COSTA	Tese PPGAU/UFRR	Do modelo geométrico ao modelo físico: O tridimensional na educação do Arquiteto e Urbanista	Experimentar a inserção das modelagens e da prototipagem e observar sua adequação às diversas fases do projeto.	0		0		0
10	2006	Octavio LACOMBE	Tese FAU-USP	Diagramas digitais: pensamento e gênese da arquitetura mediada por tecnologias numéricas.	Estudar como a tecnologia digital faz parte da evolução do pensamento arquitetônico.	0	0		0	0
11	2013	Mônica Maria Fernandes LIMA et al	PROJETAR/Salvador	A geometria e ensino do projeto arquitetônico: uma investigação sobre a produção de teses e dissertações.	Investigar a produção científica, local e Internacional, na área de projeto, representação e geometria.		0			0
12	2013	Nidia B. MAIDANA et al	Revista Eletrônica de Arquitetura e Urbanismo/USJT	Representación, lenguajes gráficos y proyectación: lo que se juega en la enseñanza del diseño.	Revisar criticamente as práticas e teorias que estruturam o ensino das disciplinas projetivas			0		0
13	2013	Natália Silva PEREIRA et al	Graphica 2013	Parametrismo e ensino de geometria – as superfícies de Felix Candela.	Discutir as possíveis contribuições que os ambientes de modelagem para métrica podem trazer para o ensino de geometria descritiva nos cursos de arquitetura.	0				
14	2013	Janice de Freitas PIRES et al	Graphica 2013	Processos de ensino aprendizagem da geometria de superfícies curvas em Arquitetura e Design.	Identificar os referenciais sobre os tipos de superfícies curvas e configurar seus processos de representação gráfica digital e possibilidades de transformação.	0	0		0	0
15	2012	Janice de Freitas PIRES et al	Educação Gráfica	Inserção da representação gráfica digital em estágios iniciais da prática projetual de arquitetura	Incrementar os exercícios tradicionais de análises de obras de Arquitetura com a atividade de representação e contribuir com uma atitude reflexiva por parte dos estudantes.	0		0		0
16	2008	Rejane de Moraes RÉGO	Tese AU/UFBA	Educação Gráfica para o processo criativo projetual arquitetônico: as relações entre a capacidade visiográfica-tridimensional e a utilização de instrumentos gráficos digitais para modelagem geométrica.	Proporcionar o desenvolvimento da percepção e compreensão das formas tridimensionais e de sua expressão gráfica em representações bi e tridimensionais por meio de instrumentos gráficos manuais e digitais.					
17	2013	Daniel Wylie Lacerda RODRIGUES et al.	Graphica 2013	Desafiando o pensamento geométrico.	Discutir a forma de conduzir o processo de ensino/aprendizagem de disciplinas que desenvolvem competências essenciais para resolução de problemas espaciais (bi e tridimensionais)	0	0	0		0
18	2012	Adriane Borda Almeida da SILVA et al.	Educação Gráfica	Trajetórias de aprendizagem em representação gráfica digital.	Descrever um processo de delimitação de trajetórias de aprendizagem em Representação Gráfica Digital, para a formação em Arquitetura.	0	0	0		0
19	2012	Carlos Eduardo VAZ et al.	Sigradi / Brasil	A modelagem paramétrica e o ensino de geometria descritiva – as superfícies de Felix Candela.	Analisar as possíveis contribuições que os ambientes de modelagem paramétrica pode trazer ao processo de ensino geometria descritiva no curso de Arquitetura.		0			0
20	2014	Tassia Borges de VASCONCELOS et al.	SIGRAD/Uruguai	A parametrização como experiência prévia para a estruturação de métodos projetuais em arquitetura.	Delimitar um problema didático ao identificar e/ou estruturar atividades que promovam o desenvolvimento desta nova cultura.	0	0	0		0
21	2006	Emerson José VIDIGAL	Tese FAU/USP	Ensino de projeto arquitetônico: um estudo sobre as práticas didáticas no curso de arquitetura e urbanismo da Universidade Federal do Paraná.	Propor novos caminhos para a atividade didática de projeto e sugerir alternativas aos modelos de ensino/aprendizagem mais praticadas no contexto atual.		0			0