

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

FACULDADE DE ARQUITETURA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

CHRISTINA ARAUJO PAIM CARDOSO

**FORMAS ARQUITETÔNICAS:
POSSIBILIDADES EM AMBIENTE COMPUTACIONAL**

SALVADOR

2005

CHRISTINA ARAUJO PAIM CARDOSO

**FORMAS ARQUITETÔNICAS:
POSSIBILIDADES EM AMBIENTE COMPUTACIONAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Área de Concentração: Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Arivaldo Leão de Amorim

SALVADOR

2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

CHRISTINA ARAUJO PAIM CARDOSO

**FORMAS ARQUITETÔNICAS:
POSSIBILIDADES EM AMBIENTE COMPUTACIONAL**

Tese para obtenção do grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo

Salvador, 26 de Agosto de 2005

Banca Examinadora

Prof. Doutor Arivaldo Leão de Amorim (Orientador)
Universidade Federal da Bahia – Faculdade de Arquitetura

Profa. Doutora Elisabetta Romano
Universidade Federal da Paraíba- Departamento de Arquitetura

Prof. Doutor Gilberto Corso Pereira
Universidade Federal da Bahia – Faculdade de Arquitetura

Prof. Doutor Gilberto Sarkis Yunes
Universidade Salvador

Prof. Doutor Isaías de Carvalho Santos Neto
Universidade Federal da Bahia

Dedico este trabalho à minha família, e a todos aqueles que sempre incentivaram as minhas atividades acadêmicas.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Arivaldo Leão de Amorim, que me orientou com extrema competência, zelo e dedicação, pela amizade, pelos ensinamentos transmitidos e, sobretudo, por confiar na minha proposta de trabalho;

Aos professores Examinadores por terem aceito participar da Banca e pelas contribuições ao trabalho durante o exame de qualificação;

Aos colegas do Departamento das Geometrias de Representação, que supriram as minhas ausências quando em licenças para elaboração da tese, além do estímulo e amizade em todos os momentos;

A Iza, Natalie, Jaine e Tatiana Pessoa pelo auxílio na pesquisa e pelos conhecimentos compartilhados durante a elaboração do trabalho;

Ao Prof. Dr. Enaldo Vergasta, pela gentileza e presteza nas contribuições no campo da Matemática;

À Equipe do LCad, que gentilmente me acolheu durante a realização das pesquisas, disponibilizando inclusive o seu acervo bibliográfico, e em especial a Neusa, cujo carinho e “cafezinho” sempre foram estimulantes;

Aos alunos e professores das turmas 01 e 02 do Ateliês III e turma 01 do Ateliê IV, do ano letivo de 2004, pela colaboração com a pesquisa e pelas discussões enriquecedoras sobre o tema;

A coordenação e funcionários do Colegiado do Curso de Arquitetura que viabilizaram a pesquisa dos Trabalhos Finais de Graduação;

A Anete, Andrei Miler e Marcos Queiroz pelo material bibliográfico disponibilizado;

A Antonio Carlos, pelo companheirismo e suporte afetivo tão importantes, e a meus filhos, mãe e irmãos pela paciência e compreensão nas horas subtraídas do nosso convívio;

E, finalmente, a todos que colaboraram com a realização deste trabalho e que por falha não tenham sido citados,

meu muito obrigada!

RESUMO

Este trabalho trata da análise da utilização das ferramentas CAD e do papel que estas exercem na concepção e produção da forma arquitetônica. Seu objetivo é analisar que influência as ferramentas CAD, enquanto instrumentos de projeto, tem na produção de formas em arquitetura e verificar como se dá esta influência, a partir da constatação que a introdução das novas tecnologias computacionais com seus amplos recursos provocou uma mudança nas habilidades criativa e cognitiva envolvidas neste processo. Com a introdução das ferramentas computacionais no auxílio ao projeto a produção de formas arquitetônicas ganhou novas possibilidades, tornando viáveis formas outrora consideradas complexas demais para serem projetadas e construídas, não apenas no que diz respeito à sua geometria, mas também no que se refere ao seu comportamento. Assim, para atingir-se o objetivo os procedimentos que foram levados a efeito foram inicialmente montar um quadro conceitual através da análise da forma, quanto a seus elementos, percepção e propriedades visuais, seguindo com suas propriedades geométricas, geração e classificação enquanto superfícies. A análise da representação, além de ser classificada quanto a características e aplicações no projeto, também leva em conta o instrumental utilizado na sua construção, já separado em dois grandes grupos: o dos instrumentos tradicionais e o das ferramentas computacionais. Fechando este quadro conceitual, o processo de projeto é então discutido, frente à utilização do instrumental de representação. Dando continuidade, são realizados procedimentos de observação e análise da produção da forma versus o instrumental utilizado na sua projeção. Faz-se então a análise das soluções formais de algumas obras consideradas não convencionais, identificando a presença, ou não, das ferramentas computacionais na sua produção. E, finalizando, verifica-se o impacto da utilização das ferramentas CAD no curso de Arquitetura e Urbanismo da UFBA, através da análise, sob o aspecto geométrico, do resultado formal de propostas apresentadas no Trabalho Final de Graduação e em algumas turmas de Ateliê (disciplina do curso responsável pelo projeto arquitetônico), por estudantes que utilizaram estas ferramentas na sua elaboração e/ou representação. O trabalho é concluído com uma abordagem geral das principais observações e conclusões a partir do que foi apresentado, com considerações e recomendações à guisa de contribuição à crítica construtiva sobre a adoção e apropriação do ferramental computacional na produção da forma arquitetônica, bem como de algumas referências a futuros desdobramentos que o mesmo possa vir a ter.

Palavras chave: Forma, projeto, ferramentas CAD.

ABSTRACT

This work treats of the analysis of the use of the CAD tools and of the paper that these exercise in the conception and production in the architectural form. Its objective is to analyze what kind of influence the CAD tools, while design instruments, has in the production of forms in architecture and to verify how this influence gets, starting from the verification that the introduction of the new computational technologies with their wide resources provoked a change in the creative and cognitive abilities involved in this process. With the introduction of the computational tools in the aid to the design the production of architectural forms won new possibilities, turning viable forms otherwise considered too complex for be designed and built, not just in what it concerns its geometry, but also in what it refers to its behavior. So, to reach the objective the procedures that were taken to effect went to set up a conceptual picture initially through the analysis of the form, as for their elements, perception and visual properties, proceeding with their geometric properties, generation and classification while surfaces. The analysis of the representation, besides being classified as their characteristics and applications in the design, it also consider the instrumental used in its construction, already separate in two big groups: the traditional instruments and the computational tools. Closing this conceptual picture, the design process is now discussed, front to the use of the instrumental of representation. Giving continuity, observation procedures and analysis of production of the form versus the instrumental used in its design are accomplished. The analysis of the formal solutions of some works considered unconventional is made, identifying the presence, or not, of the computational tools in its production. And, concluding, the impact of the use of the CAD tools is verified in the course of Architecture and Urbanization of UFBA, through the analysis, under the geometric aspect, of the formal result of proposed presented in the Final Work of Graduation and in some groups of Studio (discipline of the responsible course for the architectural project), by students that used these tools in his elaboration and/or representation. The work is concluded with a general approach of the main observations and extracted conclusions taken from what was presented, with considerations and recommendations to the contribution mode to the constructive critic about the adoption and appropriation of the computational tools in the production of the architectural forms, as well as of some references to futures unfoldings that the same can come to have.

Key words: Form, design, CAD tools.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE SIGLAS/ABREVIATURAS	14
INTRODUÇÃO	15
FORMA E GEOMETRIA	22
ESTUDO DA FORMA	22
Conceituação	23
Elementos da Forma	25
Percepção e Propriedades Visuais da Forma	27
GEOMETRIA	29
Breve Histórico	29
A Geometria e seu Estudo	37
FORMA E GEOMETRIA	39
Geração da Forma Arquitetônica	40
Superfícies Geométricas	43
Tipologia das Formas	47
TECNOLOGIA	48
2.1 TECNOLOGIA E ARQUITETURA	48
2.2 TECNOLOGIA E PROCESSO DE PROJETO	49
2.2.1 Representação visual da forma	50
2.2.2 A Representação no processo projetual	55
2.2.3 Recursos tradicionais para representação	61
2.2.4 Recursos computacionais de representação	67
2.3 TÉCNICAS COMPUTACIONAIS DE MODELAGEM E A ARQUITETURA	72
2.3.1 Modelos de arestas (<i>wireframe</i>)	75
2.3.2 Modelos de superfície	76
2.3.3 Modelos de sólidos	81

2.4 FERRAMENTAS CAD E A PRODUÇÃO DA FORMA	91
2.4.1 Características gerais	94
a. Ferramentas genéricas	94
b. Ferramentas de modelamento e/ou dedicadas para mecânica.....	95
c. Programas dedicados ao projeto de arquitetura	96
2.4.2 Aspectos vinculados à geração da forma	97
a. Ferramentas genéricas	97
b. Ferramentas de modelamento	97
c. Programas dedicados ao projeto de arquitetura	99
2.5 A REALIDADE VIRTUAL COMO RECURSO AUXILIAR DE PROJETAÇÃO.....	100
FORMAS ARQUITETÔNICAS EM AMBIENTE COMPUTACIONAL	106
3.1 O COMPUTADOR COMO EDITOR DE DESENHO	107
3.2 AS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS TAMBÉM COMO INSTRUMENTOS DE CONCEPÇÃO	108
3.3 O COMPUTADOR ROUBA A CENA	128
3.3.1 Arquitetura líquida	129
3.3.2 Time-like architecture	132
3.3.3 Arquitetura Genética	133
3.3.4 <i>Animate Form</i>	134
UM OLHAR SOBRE A PRODUÇÃO DOS ALUNOS DA FAUFBa	137
4.1 SOBRE A ABORDAGEM	138
4.2 PERCEPÇÃO DOS DOCENTES DA FAUFBA NO MOMENTO ATUAL	140
4.3 TRABALHOS ACADÊMICOS – ATELIÊS E TFG.....	145
4.3.1 O uso do computador apenas como editor desenho	147
a. Ateliês III e IV	147
b. TFG	155
4.3.2 O computador utilizado também como ferramenta de concepção..	155
CONSIDERAÇÕES FINAIS	184

CONCLUSÕES	190
RECOMENDAÇÕES	192
DESDOBRAMENTOS E CONTINUIDADE	194
BIBLIOGRAFIA	196
REFERÊNCIAS	196
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	200
SITES CONSULTADOS	204..
APÊNDICES	
Apêndice 01: Ficha dos Programas analisados	205
Apêndice 02: Relação dos trabalhos do Ateliê Cooperativo de Simulação Digital	217
Apêndice 03: Relação dos Trabalhos Finais de Graduação destacados na tese	219
Apêndice 04: Ficha de perfil do aluno do ateliê	221
Apêndice 05: Ficha de acompanhamento de atividades do ateliê	223
Apêndice 06: Fichas dos Ateliês III e IV acompanhados	225

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1 – FORMA E GEOMETRIA

Figura 1.01: Ponto	25
Figura 1.02: Linha	26
Figura 1.03: Porções de Superfícies limitadas por bordas	26
Figura 1.04: Volume	26
Figura 1.05: A percepção da figura muda conforme mudamos a posição do apoio.	28
Figura 1.06: O quadrado que está cobrindo o outro parece estar mais próximo	29
Figura 1.07: O quadrado menor parece estar mais distante	29
Figura 1.08: Conjunto de Cantor	34
Figura 1.09: Curva de Koch	35
Figura 1.10: Triângulo de Sierpinski	35
Figura 1.11: Sistema Cônico de Projeção	38
Figura 1.12: Sistema Cilíndrico de Projeção	38
Figura 1.13: Sólidos primários	41
Figura 1.14: Sólidos Platônicos ou regulares	42
Figura 1.15: Superfícies geradas por retas e por curvas.....	45
Figura 1.16: Classificação Mongeana das Superfícies.....	46

Capítulo 2 - TECNOLOGIA

Figura 2.01: Ciclo esquemático do processo de produção da Arquitetura	58
Figura 2.02: Reichstag Conversion: esboços. Arquiteto: Santiago Calatrava	59
Figura 2.03: Reichstag Conversion: maquete de estudo.	60
Figura 2.04: Igreja da Colônia Güell: pintura feita por Gaudí	64
Figura 2.05: Igreja da Colônia Güell: Maquete funicular. Arquiteto: Gaudí	64
Figura 2.06: Sydney Opera House - Austrália.....	66
Figura 2.07: Sydney Opera House – Austrália. Cobertura que lembra velas de embarcações.....	66
Figura 2.08: Tabela ilustrativa dos níveis de representação – gráfica e alfanumérica	69
Figura 2.09: Objeto modelado em <i>wireframe</i> , onde todas as arestas são visíveis ..	76
Figura 2.10: Poliedro modelado por superfícies, com o recurso “ <i>hidden</i> ” (linhas escondidas) aplicado às arestas não visíveis	77
Figura 2.11: Superfície formada por malha poligonal	77
Figura 2.12: Edifício da National Nederlanden: modelagem utilizando as <i>splines</i> e <i>B-splines</i>	79
Figura 2.13: Edifício da National Nederlanden: fotomontagem	80
Figura 2.14: Capela de Ronchamp: estrutura da cobertura. Dados gráficos e resolução espacial com a utilização de NURBS	81
Figura 2.15: Capela de Ronchamp: análise formal e de curvatura da cobertura	81
Figura 2.16: Sólido modelado por fronteira	83
Figura 2.17: Cubo e esfera, aos quais serão aplicadas operações booleanas	84
Figura 2.18: Aplicação de operações booleanas de subtração e união	84
Figura 2.19: Aplicações de operações booleanas de subtração e interseção	85
Figura 2.20: Sólidos resultantes da aplicação de operações booleanas a um cilindro e uma esfera	85

Figura 2.21: Toróide representado por enumeração exaustiva ou enumeração espacial	86
Figura 2.22a: Sólido envolvente. Octante e sentido da numeração	87
Figura 2.22b: O Sólido.....	87
Figura 2.22c: A árvore – Representação do sólido por <i>octree</i>	88
Figura 2.23: Peça mecânica modelada a partir da decomposição celular.....	88
Figura 2.24: Duas esferas, ou <i>metaballs</i> e seus raios de influência.....	89
Figura 2.25a: As esferas isoladas	89
Figura 2.25b: As duas esferas unidas, sob a ação do raio de influência, transformam-se num glóbulo	89
Figura 2.26: Koorean Preabiterian Church: interior. Projeto do arquiteto Greg Lynn, que utilizou os BLOBS para sua concepção	90
Figura 2.27: À esquerda, exemplo de superfície gerada pelo movimento do <i>mouse</i> , e à direita as linhas geradoras	103

Capítulo 3. FORMAS ARQUITETÔNICAS EM AMBIENTE COMPUTACIONAL

Figura 3.01: Harbourside Centre, em Bristol: maquete	111
Figura 3.02: Harbourside Centre, em Bristol: perspectiva a partir do modelo tridimensional do auditório de concertos.	111
Figura 3.03: Swiss Re, em Londres. Arquitetos: Norman Foster e Associados	113
Figura 3.04: Swiss Re, em Londres: maquete de estudos	114
Figura 3.05: Torres Petronas: esquema utilizado na planta baixa. Arquiteto: César Pelli	115
Figura 3.06: Torres Petronas: perspectiva esquemática de um trecho	115
Figura 3.07: Torres Petronas	115
Figura 3.08: Auditório Disney: perspectiva a partir do modelo tridimensional Arquiteto: Frank Gehry	118
Figura 3.09: Auditório Disney: maquete.	119
Figura 3.10: Auditório Disney: maquete da versão final.	119
Figura 3.11: Museu de Niterói. Arquiteto: Oscar Niemeyer	120
Figura 3.12: Novo Museu de Curitiba, projeto de Oscar Niemeyer.....	120
Figura 3.13: Museu de Ciências de Valência. Arquiteto: Santiago Calatrava	121
Figura 3.14: Ampliação do Museu de Arte de Milwaukee, projetada por Santiago Calatrava	121
Figura 3.15: Kunsthaus (Casa de Cultura), em Graz. Projeto de Peter Cook e Colin Fournier	122
Figura 3.16: Museu Guggenheim, em Bilbao. Arquiteto: Frank Gehry	123
Figura 3.17: Museu Guggenheim, em Bilbao: modelo em <i>wireframe</i> , elaborado no CATIA	124
Figura 3.18: Estátua do Maitreya Buddha, onde funcionará um Templo: perspectiva a partir do modelo tridimensional	126
Figura 3.19: Estátua do Maitreya Buddha: processo de digitalização	127
Figura 3.20: Estátua do Maitreya Buddha: detalhe do modelo digital	127
Figura 3.21: Pavilhão da Água Doce: interior. Projeto do Grupo NOX	131
Figura 3.22: Pavilhão de Água Doce: corte	131
Figura 3.23: Pavilhão de Água Doce: exterior	132
Figura 3.24: Pavilhão da Água Salgada: vista externa. Projeto: Kars Oosterhuis.	132

Figura 3.25. Elemento arquitetônico de uma pérgola em madeira realizada na ESARQ com máquina CNC, José Noel del Toro, Barcelona, 2002 ...	133
Figura 3.26: Estação de Trens La Sagrera, em Barcelona, projetada com auxílio dos <i>software</i> L-System e Rhino	134
Figura 3.27: Embryological House: desenvolvimento.....	135
Figura 3.28: Embryological House: Maquete.....	136

Capítulo 4 - UM OLHAR SOBRE A PRODUÇÃO DOS ALUNOS DA FAUFBa

Figura 4.01: Proposta para edifícios. Planta baixa e estudo volumétrico. Turma A. Alunas: Sabrina Cunha e Maria Elisa Veloso	149
Figura 4.02: Proposta para edifício. Planta baixa e perspectiva da fachada. Turma A. Alunas: Sabrina Cunha e Maria Elisa Veloso	149
Figura 4.03: Proposta para edifício. Planta baixa. Turma B. Aluna: Ana Maria	150
Figura 4.04: Estudos de volumetria para edifício. Turma B. Aluna: Elisângela Leão.	150
Figura 4.05: Centro Profissionalizante. Estudo preliminar. Aluno: Leandro Cardoso	151
Figura 4.06: Centro Cultural. Estudo da passarela. Alunos: Gustavo Santamaría e Leandro Cruz	151
Figura 4.07: Centro Cultural. Estudo de volumetria. Alunos: Gustavo Santamaría e Leandro Cruz	152
Figura 4.08: Hotel. Estudos de volumetria e maquete. Alunas: Mirna e Gabriela... ..	152
Figura 4.09: Trapiche Barnabé. Estudo preliminar para proposta arquitetônica de Ocupação. Alunos: Anderson, Camile e Glenda	153
Figura 4.10: Projeto: Museu do Mar. Planta Baixa do pavimento térreo. Aluno: Fábio Melo	160
Figura 4.11: Projeto: Museu do Mar. Fachada e Cobertura. Aluno: Fábio Melo	160
Figura 4.12: Projeto: Museu do Mar. Volumetria. Aluno: Fábio Melo	161
Figura 4.13: Projeto: Museu do Mar. Volumetria. Aluno: Fábio Melo	161
Figura 4.14: Projeto: Educação. Cortes - Administração. Aluno: Orlando Júnior..	162
Figura 4.15: Projeto: Educação. Vista em perspectiva de detalhe da estrutura da cobertura. Aluno: Orlando Júnior	162
Figura 4.16: Projeto: CTR. Modelo tridimensional de estudo do partido com adoção das lajes verdes. Aluno: André Oliva	164
Figura 4.17: Projeto: CTR. Modelo tridimensional da implantação e partido. Aluno: André Oliva	164
Figura 4.18: Projeto: Residencial Gamboa. Planta do Pavimento Térreo. Aluno: Rodrigo Dratovsky	165
Figura 4.19: Projeto: Residencial Gamboa. Estudo volumétrico. Aluno: Rodrigo Dratovsky	165
Figura 4.20: Projeto: Arquitetura Hoteleira. Cortes das torres, com estudo da ventilação. Aluna: Lídice Carvalho	166
Figura 4.21: Projeto: Arquitetura Hoteleira. Fachada Sul – Torre A. Aluna: Lídice Carvalho	167
Figura 4.22: Projeto: Terminal Rodoviário Alternativo. Modelo 3D da proposta. Aluno: Anselmo Pires.	168
Figura 4.23: Projeto: Terminal Rodoviário Alternativo. Modelo tridimensional. Aluno: Anselmo Pires.	168

Figura 4.24: Projeto: Museu Salvador. Desenvolvimento do prédio 1. Aluno: Jaine Carvalho	171
Figura 4.25: Projeto Museu Salvador. Desenvolvimento do prédio 2. Aluno: Jaine Carvalho	171
Figura 4.26: Projeto: Museu Salvador. Estudo para o prédio 3. Aluno: Jaine Carvalho	171
Figura 4.27: Projeto: Museu Salvador. Aluno: Jaine Carvalho	172
Figura 4.28: Projeto: Museu Salvador. Seção no nível do primeiro pavimento. Aluno: Jaine Carvalho	172
Figura 4.29: Projeto: Centro Cultural. Estudos de volumetria, com modelagem a partir de primitivos sólidos. Aluna: Cristina Trigo	173
Figura 4.30: Centro Cultural: forma escolhida. Aluna: Cristina Trigo	174
Figura 4.31: Projeto: Centro Cultural. Estudo de circulação externa e estacionamento. Aluna: Cristina Trigo	174
Figura 4.32: Projeto: Centro Cultural. Estudos da iluminação do teatro, através de Simulação. Aluna: Cristina Trigo	174
Figura 4.33: Projeto: Centro de Esportes Aquáticos. Estudo volumétrico, com modelagem tridimensional. Vista superior e vista em perspectiva. Aluno: Adriano Huoya Mariano	175
Figura 4.34: Projeto: Centro de Esportes Aquáticos. Modelos usados no estudo estrutural. Aluno: Adriano Huoya Mariano	176
Figura 4.35: Projeto: Centro de Esportes Aquáticos. Modelo tridimensional da proposta final. Aluno: Adriano Huoya Mariano	176
Figura 4.36: Projeto: Planetário. Estudos de volumetria. Aluna: Akemi Tahara	177
Figura 4.37: Projeto: Planetário. Evolução da proposta. Aluna: Akemi Tahara	177
Figura 4.38: Projeto: Planetário. Modelo tridimensional com vista da proposta final, inserida no local. Aluna: Akemi Tahara	178
Figura 4.39: Projeto: Planetário. Simulação de espetáculo na sala de projeção. Aluna: Akemi Tahara	178
Figura 4.40: Projeto: Faculdade de Arquitetura. Modelo tridimensional da proposta final com vista da malha tridimensional. Alunos: Andrei Miler, Daniele Ferreira e Diana Fialho.....	181
Figura 4.41: Projeto: Faculdade de Arquitetura. Modelo tridimensional “renderizado” da proposta final. Alunos: Andrei Miler, Daniele Ferreira e Diana Fialho.....	181
Figura 4.42: Projeto: Faculdade de Arquitetura. Maquete da implantação. Alunos: Andrei Miler, Daniele Ferreira e Diana Fialho.....	182

LISTA DE SIGLAS / ABREVIATURA

- ABEA – Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura
- AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção
- BLOB – *Binary Large Objects*
- B-Rep – *Boundary Representation*
- CAD – *Computer Aided Design*
- CAM – *Computer Aided Manufacturing*
- CATIA – *Computer Assisted Three-dimensional Interactive Application*
- CNC – *Computer Numerical Control*
- CSG – *Constructive Solid Geometry*
- DAC – Desenho Auxiliado por Computador
- ESARQ – *Escola Técnica Superior d'Arquitetura*
- FAUFBa – Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia
- IGES – *Initial Graphics Exchange Specification*
- LCAD – Laboratório de Computação Gráfica Aplicada à Arquitetura e Desenho
- MEC – Ministério da Educação
- NURBS – *Non-Uniform Rational B-splines*
- PR – Prototipagem Rápida
- TFG – Trabalho Final de Graduação
- TGI – Trabalho de Graduação Integrado
- UFBa – Universidade Federal da Bahia
- UIC – *Universitat Internacional de Catalunya*

INTRODUÇÃO

A forma dos objetos arquitetônicos varia em cada época e lugar em função de um contexto cultural e ideológico, influenciado e modificado por diversos fatores físicos, tecnológicos e econômicos e até de natureza legal. Entre esses fatores, está incluído aquele relacionado ao instrumental que o arquiteto tem para auxiliá-lo na concepção, representação e visualização destas formas.

A solução formal, inicialmente relaciona-se com a procura às opções que atendam a requisitos tais como custo, legislação, características do terreno, necessidades do programa, etc. Nesta procura pela solução o arquiteto manipula várias vezes o objeto em projeto num processo de aproximações sucessivas de uma solução desejada e, esta manipulação precisa ser visualizada, fazendo com que a representação se torne parte indispensável neste processo.

A representação do espaço arquitetônico é um dos principais fatores de limitação à sua apreensão e compreensão, tendo grande influencia no processo de projeto, já que a capacidade de representar e analisar a idéia é fundamental para o desenvolvimento da proposta. As representações auxiliam o raciocínio e alimentam as atividades mentais que ocorrem durante a projeção, destacando pontos de interesse, provocando tomadas de decisões e transmitindo informações. Assim, se o projetista tem limitações quanto aos recursos de que dispõe para representar suas idéias, sua atividade criadora estará restrita nestes limites.

Vários autores se dedicaram à análise dos diversos tipos de representações, criando diferentes categorizações. De uma maneira geral, considerando o suporte onde elas se desenvolvem, as representações podem ser gráficas (desenhos, por exemplo), ou físicas (as maquetes). E, quanto ao papel que assumem no processo projetual, dois grandes grupos podem ser identificados: aquelas com características de **instrumentos de concepção** e criação do objeto arquitetônico e as que se colocam como **instrumentos para a tradução** das soluções geradas pelos tipos anteriores. Podem ser definidos como instrumentos de concepção aqueles tipos de representação que estão presentes na etapa de concepção e criação do objeto, e como instrumentos de tradução aqueles tipos de representação que se colocam como tradução das soluções encontradas para o projeto, aí incluídos os desenhos técnicos e as perspectivas.

Até os anos sessenta o instrumental utilizado para levar a efeito estas representações era composto pela prancheta, régua, esquadros, compasso, normógrafos, lápis, papel etc., que serão aqui denominados de “instrumentos tradicionais de desenho”. Com a introdução da computação gráfica, das ferramentas CAD¹, cuja utilização pelos projetistas no Brasil, intensificou-se no início dos anos noventa, surge a opção do instrumental composto pelo computador, seus periféricos (impressoras, *scanner*, *plotter*, etc) e os diversos programas para concepção e representação da forma.

As ferramentas CAD, enquanto instrumentos de tradução, vêm sendo cada vez mais utilizadas pelos projetistas, pois possibilitam uma nova maneira de desenhar, mais rápida, com maior riqueza de detalhes, precisão, disponibilizando com relativa facilidade elementos técnicos para análise, simulação, construção, etc. Mas elas também podem ser utilizadas como instrumento auxiliar para a fase de concepção do projeto, e o vem sendo, embora em menor escala. Não substituem o projetista no processo criador, mas são uma importante ferramenta de auxílio principalmente através dos recursos da modelagem geométrica tridimensional e de simulação ao

¹ CAD – Computer Aided Design (Projeto Auxiliado por Computador). Segundo KLEIN (1992, p.10) é um sistema que pode ser definido “*como um conjunto de ferramentas para a criação, manipulação e alteração interativa de projetos e desenhos*”.

possibilitar ensaios e projeções, cálculos, etc., permitindo também a geração de várias alternativas de projeto, com complexidades e novos recursos para sua análise.

Observa-se então que, com a introdução das ferramentas CAD como instrumental para o projeto, pode ocorrer uma mudança já na maneira deste ser concebido. Considerando-se o desenho enquanto instrumento de concepção, as mudanças podem ser percebidas, já que o projetista pode dispensar os esboços iniciais, em planta baixa, pois mesmo que ele não tenha habilidades de desenho à mão livre suficientes para iniciar sua concepção tridimensionalmente, ao utilizar um programa de modelagem ele estará capacitado a fazê-lo.

Por outro lado, ao iniciar o projeto utilizando a modelagem tridimensional ainda na fase inicial, como instrumento de concepção, através dos recursos das ferramentas CAD, a geração dos desenhos de tradução se torna facilitada, o que faz com que enquanto instrumental de representação gráfica essas ferramentas coloquem os vários tipos de desenho interligados, inclusive aos modelos, podendo ser gerados a partir destes.

Com relação ao processo de criação de formas, Broadbent (*apud* KOWALTOWSKY, 1992), coloca que existem quatro abordagens para o problema da criação de formas, que são classificados como processos, a saber:

- “[...] - o processo pragmático que usa a metodologia de tentativa e falha (*trial and error*) e se baseia na crença de ‘[...] o que funciona é bom’;
- o processo tipológico [...] onde existe um modelo pronto cuja repetição é aceita;
- o processo analógico usando imagens filosóficas, conceitos políticos para enquadrar a forma do projeto;
- o processo sintático que procura regras geométricas como síntese para a forma”.

Sobre este assunto, Lamy (2000) classifica as fases do ciclo projetual quanto à forma de comunicação utilizada em: “fase descritiva”, “fase topológica” e “fase geométrica”. Segundo este autor, “[...] exceto na primeira fase onde a maioria das informações são representadas de forma descritiva, a linguagem gráfica constitui a abordagem utilizada com maior freqüência, tanto como instrumento de criação

quanto forma de representação ou comunicação”. Assim, observa que, a influência do conhecimento geométrico se faz sentir com bastante intensidade principalmente na fase chamada por Lamy de “geométrica” e no que Broadbent chamou de “processo sintático”, em especial a geometria euclidiana, que teve em relação à Arquitetura, para alguns autores, sua expressão máxima na Bauhaus.

Quanto ao processo sintático acima referido, as formas arquitetônicas podem ser divididas em dois grandes grupos: o das **formas convencionais** e o daquelas **não convencionais**. As **convencionais** seriam aquelas formas geometricamente derivadas dos sólidos primários (o prisma, a pirâmide, o cone e o cilindro) e cuja representação pode ser feita sem maiores dificuldades, inclusive utilizando os instrumentos tradicionais de desenho. As formas **não convencionais** seriam aquelas mais complexas em relação aos seus elementos geradores e menos usuais nos projetos de arquitetura e, ainda nesta categoria podem ser citadas aquelas inspiradas na natureza e que alguns autores denominam de “orgânicas”.

Na representação das formas, seus desenhos de tradução tem sido elaborados ao longo do tempo utilizando-se os instrumentos tradicionais, e mais recentemente vem sendo beneficiados pela introdução das ferramentas CAD que, como já foi colocado, propiciam vantagens como velocidade, precisão, maior riqueza de detalhes técnicos, além de facilitarem o processo de revisão, correção e alterações que necessitem serem levadas a efeito.

No caso das formas não convencionais, sua representação foi sempre um fator dificultador e, portanto, limitador da sua criação. Com as tecnologias CAD, esta dificuldade começou a ser solucionada. Lawson (1999) coloca que, no início dos anos 80, o Gable CAD – um programa de computador desenvolvido na Universidade de Sheffield, foi amplamente utilizado no Reino Unido e também em outros países e a sua avaliação técnica foi bastante positiva. “A visualização permitiu aos arquitetos explorar formas tridimensionais complexas e desenvolvê-las de uma maneira que eles não podiam fazer facilmente pelo método manual” (LAWSON, 1999, p. 43).

Algumas obras arquitetônicas são o reflexo desta assertiva. Como exemplo pode ser citado o Museu Guggenheim de Bilbao, projetado por Frank Gehry e que contou com o auxílio do **CATIA**, um programa de computador desenvolvido originalmente pela indústria aeroespacial francesa, que viabilizou a execução do projeto e da obra.

Assim, a partir deste quadro, neste trabalho procurou-se fazer uma análise da utilização das ferramentas CAD e o papel que estas exercem na concepção e produção da forma arquitetônica, não apenas como instrumento de tradução, mas principalmente como instrumento de concepção.

A hipótese desta tese é que as novas tecnologias computacionais aplicadas à concepção e à representação do projeto, através da utilização das ferramentas CAD, não só facilitam, mas viabilizam a produção das **formas** arquitetônicas, em especial, aquelas não convencionais.

Desta maneira, o objetivo principal desta tese foi analisar e demonstrar como as ferramentas CAD, enquanto instrumento de projeto intervém na produção das **formas** não convencionais em arquitetura.

Os procedimentos iniciais levados a efeito para atingir-se o objetivo foram o de realizar consultas bibliográficas sobre forma, representação e processo de projeto, a fim de obter um referencial teórico para o tema em desenvolvimento. Ou seja, procurou-se conceituar e analisar as formas quanto a seus elementos, percepção e propriedades visuais, seguindo com suas propriedades geométricas, geração e classificação enquanto superfícies. A análise da representação, além de ser classificada quanto às características e às aplicações no projeto, também levou em conta o instrumental utilizado na sua construção, já separado em dois grandes grupos: o dos instrumentos tradicionais e o das ferramentas computacionais. Fechando este quadro conceitual, o processo de projeto foi então discutido, frente à utilização do instrumental de representação.

A etapa seguinte consistiu em procedimentos de observação e análise da produção da forma versus o instrumental utilizado na sua projeção, em duas instâncias: uma

profissional e outra acadêmica. Na primeira instância foram analisadas as soluções formais de algumas obras com registro na literatura especializada e consideradas não convencionais, identificando a presença, ou não, das ferramentas computacionais na sua produção.

Na instância acadêmica, considerando-se a inserção obrigatória de disciplinas de Informática Aplicada nos cursos de Arquitetura após 1996, aliada ao fato de que muitos alunos por iniciativa própria procuram se instrumentalizar no uso das ferramentas computacionais, optou-se por lançar um olhar sobre esta produção “pós-informática” dos estudantes.

O trabalho está estruturado em quatro capítulos que serão apresentados a seguir:

O Capítulo 1 – Forma e Geometria faz uma abordagem conceitual sobre a Forma enquanto configuração geométrica, seus elementos, de como se dá a sua percepção e quais suas propriedades visuais. Segue com um breve histórico sobre a Geometria, visando dar um panorama sobre seu desenvolvimento e analisa as diversas formas de estudo a ela relacionados. Continua, traçando uma relação entre a Forma e a Geometria, no que diz respeito à geração da forma arquitetônica, e fazendo uma breve exposição sobre as superfícies geométricas. Conclui com uma classificação das formas em convencionais e não convencionais de acordo com suas características geométricas.

No Capítulo 2 – Tecnologia, esta é analisada conceitualmente e relacionada à produção da arquitetura. O processo projetual então é analisado e conceituado, dando-se ênfase às representações que são usadas neste processo, bem como ao ferramental que é utilizado para sua realização. São apresentados os recursos de modelagem e realidade virtual e é feita uma análise de algumas das ferramentas CAD mais conhecidas com relação às suas propriedades na geração de formas arquitetônicas.

O Capítulo 3 – Formas Arquitetônicas em Ambiente Computacional trata da produção recente da arquitetura que utiliza as ferramentas CAD na sua concepção e

representação. São apresentadas experiências e obras de arquitetos conhecidos internacionalmente, que tem propostas formais não convencionais e que utilizaram o ferramental computacional na sua elaboração, classificadas de acordo com o nível de utilização das ferramentas, ou seja: se apenas como instrumentos de tradução sem que haja uma interferência acentuada na produção da forma; se utilizadas como instrumentos de concepção e tradução, e já interferindo na produção da forma; e, por último, sendo utilizadas intensivamente em toda a projeção, de maneira a “conduzir”, de certa forma, o processo.

O Capítulo 4 – Um Olhar sobre a Produção dos Alunos da FAUFBa, como o próprio título deixa claro, destina-se a fornecer um panorama de como está acontecendo a adoção e a apropriação do ferramental computacional no curso de Arquitetura da UFBA, por parte dos discentes.

O trabalho é concluído com uma reflexão geral das principais observações e conclusões a partir do que foi apresentado. Também são apresentadas considerações e recomendações à guisa de contribuição à crítica construtiva sobre a adoção e a apropriação do ferramental computacional na produção da forma arquitetônica, tanto por parte dos profissionais de projeto como no curso de Arquitetura e Urbanismo da FAUFBa, bem como de algumas referências a futuros desdobramentos que o mesmo possa vir a ter.

FORMA E GEOMETRIA

1.1 ESTUDO DA FORMA

A produção da **forma** em Arquitetura, nas suas diversas etapas, envolve um grande número de variáveis e condicionantes. Dentre estas, destacam-se sua geometria e as diversas tecnologias que viabilizam sua criação e representação, bem como sua construção. Os meios de representação e a manipulação² da **forma** Arquitetônica tem grande influência no processo de projeção, limitando muitas vezes a criatividade.

Até bem pouco tempo a representação gráfica da **forma** só podia ser feita utilizando-se os instrumentos tradicionais de desenho – régua, esquadros, compassos, lápis, borracha, etc. -, e para sua manipulação usavam-se os modelos físicos – maquetes. Ocorre que tanto a representação obtida usando-se os instrumentos tradicionais de desenho, como o uso dos modelos físicos tem muitas limitações, como por exemplo, o tempo para sua execução, e a necessidade de uma “visão espacial” bem desenvolvida. Essas limitações se agravam quando se trata das formas não

² No contexto deste estudo, será chamado de **representação gráfica** o ato ou efeito de representar graficamente um objeto, ou seja, de reproduzi-lo e descrevê-lo através de desenhos, de figurá-lo usando uma linguagem simbólica que traduza sua aparência. E entende-se por **manipulação** as várias operações que podem ser levadas a efeito em um corpo, no sentido de modificá-lo em relação aos seus próprios elementos e suas propriedades, bem como nas suas relações com o espaço que o cerca. Assim, as operações de adição, subtração, união, interseção e as transformações seriam exemplos de manipulação de uma forma arquitetônica.

convencionais, ou seja, daquelas menos usuais, não derivadas de sólidos primários, e que são em sua maioria, mais complexas em sua geração. Entretanto, com a introdução das tecnologias computacionais, observa-se que tanto a manipulação como a representação gráfica das **formas** ganharam novas possibilidades de criação e expressão.

Nesse sentido, uma abordagem para o estudo da produção da **forma** em Arquitetura, pode ser centrada em dois grandes eixos:

1. a análise da **forma**, propriamente dita, através de sua conceituação, definição de suas propriedades e atributos geométricos e físicos, e de sua classificação em convencionais e não convencionais;
2. análise das **tecnologias**, enquanto instrumental de projeto e sistemas construtivos.

Este trabalho tem como objeto uma abordagem inicial desses dois eixos. Consta da conceituação e caracterização da **forma**, suas propriedades geométricas que remetem ao estudo das superfícies, e o estabelecimento de uma classificação em formas convencionais e não convencionais, e uma rápida introdução ao papel das tecnologias de representação gráfica no processo de projeção. A análise dos atributos físicos da **forma**, tais como estabilidade, características estruturais, construtibilidade, etc, e seu cruzamento com as metodologias de projeto e as tecnologias enquanto sistemas construtivos, apesar de muito importantes, não serão objeto deste trabalho.

1.1.1 Conceituação

Forma pode ser definida como “configuração, feitio, feição externa, manifestação, estado, estrutura, arranjo e estilo em composição literária, musical ou plástica” (BUENO, 1975, p. 585). Ou ainda, segundo Corona & Lemos, no Dicionário de Arquitetura Brasileira,

[...] toda a construção, organicamente composta pelos espaços interiores que ela determina – e cuja razão de ser tem sempre base numa necessidade prática, construtiva e estética. A manifestação concreta da forma, se faz através de múltiplas combinações obtidas

pelas linhas, pelas superfícies e pelos volumes, ocupando determinado espaço arquitetônico, protagonista da arquitetura (CORONA & LEMOS, 1972).

Os elementos visuais – formato, tamanho, cor e textura, constituem, para Wong o que chamamos de Forma. “Neste sentido, não é apenas uma figura que é vista, mas um formato de tamanho, cor e textura definidos. [...] Assim, ponto, linha ou plano, quando visíveis, se tornam forma”. Logo, no sentido amplo, **forma** é tudo aquilo que pode ser visto, que tenha formato, cor, textura, tamanho. O autor considera ainda que, em relação à maneira como ela é criada, construída ou organizada em conjunto com outras formas, ou seja, relativamente à sua produção, a **forma** é regida por uma certa disciplina à qual ele chama de “estrutura”³.

A conceituação feita por Barki, para quem a **forma** é a “estrutura, organização e disposição das partes ou elementos de um corpo ou objeto” e também “modo pelo qual uma determinada coisa em um dado contexto se revela à nossa percepção”, sintetiza todas as definições anteriores, onde o que predomina é a idéia da configuração, a partir de elementos, e que só se realiza a partir da nossa percepção.

Segundo Wong, o fato de vivenciarmos um mundo que é tridimensional, faz com que nossa experiência de **forma** também o seja, e ressalta o fato de que esta experiência tridimensional influencia nossa percepção das formas bidimensionais.

O que seriam as **formas bidimensionais**? De acordo com Wong, seriam os escritos, desenhos, pinturas feitos pelo homem, essencialmente como uma criação para comunicar idéias, registrar experiências, expressar sentimentos e emoções, ou ainda aquelas utilizadas como simples decoração ou transmissão de visões artísticas. São constituídas por pontos, linhas e/ou planos sobre uma superfície plana. Já a **forma tridimensional** é aquela “em direção à qual podemos caminhar, da qual podemos nos afastar ou em torno da qual podemos andar” (WONG, 2001, p. 138-139).

³ A palavra estrutura, aqui tem um sentido muito específico, relativo ao desenho, significando basicamente a organização e disposição, segundo princípios e regras, dos elementos que compõem a forma.

Nas definições acima aparece o conceito de formato. Os formatos são **formas** mostradas de determinados ângulos e a certa distância, áreas definidas por um contorno, e assim sendo, verifica-se que a **forma** pode ter diversos formatos. O formato, segundo Wong, é sempre bidimensional e pode ser considerado, então, um aspecto da **forma**. Esta é a aparência visual total de um objeto, embora o formato seja seu principal fator de identificação. Um formato ao qual se dê volume e espessura e que possa ser visto de diferentes ângulos passa a ser **forma**.

1.1.2 Elementos da Forma

Os elementos definidores da **forma**, chamados por Ching de Elementos Primários, são o Ponto, a Linha, a Superfície e o Volume.

O Ponto é o gerador principal da **forma** e indica uma posição no espaço. Com relação ao seu formato, para que uma **forma** seja **reconhecida** como um ponto deve ser comparativamente pequena, e de formato razoavelmente simples. Assim, o formato



Figura 1.01: Ponto

mais comum de um ponto é o de um círculo, e quanto ao tamanho, deve estar inserido num espaço/moldura de tamanho razoavelmente maior que o seu (Figura 1.01).

A Linha pode ser definida como o deslocamento de um ponto em uma só dimensão. Possui propriedades de comprimento, direção e posição. Para que uma linha seja reconhecida como tal, seu formato deve ter a largura extremamente estreita e seu comprimento deve ser bem evidente (Figura 1.02).

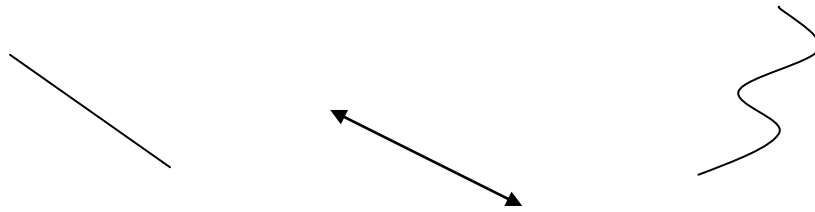


Figura 1.02: Linha

A Superfície é resultante do deslocamento de uma linha numa direção diferente da sua. Possui propriedades de largura e comprimento, área, orientação e posição. A Superfície pode ser definida como uma extensão a duas dimensões. Sendo limitada numa porção, o será por linhas conceituais que, assim, constituirão sua borda. Neste caso, uma porção de superfície pode ter uma variedade de formatos: geométricos, orgânicos, retilíneos, irregulares, e podem ser gerados propositalmente (desenhados, por exemplo), ou surgir por acidente (uma mancha de tinta que cai no papel) (Figura 1.03).



Figura 1.03: Porções de superfícies limitadas por bordas

O Volume é gerado pelo deslocamento de uma porção da superfície numa direção diferente das suas geradoras, possuindo um limite. Desenvolve-se em três dimensões, e tem as seguintes propriedades: largura, comprimento e profundidade, forma, superfície, orientação e posição. Para que seja possível percebê-lo representado, no plano bidimensional, são utilizados os recursos do Desenho Projetivo, através de perspectivas ou projeções (Figura 1.04).



Figura 1.04: Volume

1.1.3 Percepção e Propriedades Visuais da Forma

O estudo da percepção visual das formas é importante para quem trabalha na sua criação, a fim de responder a questionamentos tais como:

- Por que algumas formas agradam e outras não?
- Que fatores são determinantes para se garantir a legibilidade das formas que estamos criando?

Assim, os psicólogos gestaltistas⁴ desenvolveram uma teoria da percepção, com base em um método que possibilitou a compreensão de como as formas que percebemos se ordenam e/ou se estruturam, no nosso cérebro. Segundo eles, a emergência da figura com relação ao fundo é aspecto primário e fundamental na percepção da forma. A figura é considerada como forma positiva e o fundo, a forma negativa. Basicamente a percepção da forma é o resultado de diferenças no campo visual, as quais constituem o contraste que separa a figura do fundo.

Entretanto só a percepção visual não é suficiente para que se conheça o mundo que nos cerca. Serão precisos outros atos do pensamento, a partir das funções ditas cognitivas: atribuir significado, registrar situações significativas e agrupá-las em classe, segundo suas analogias, estabelecer experiências, selecionar dados, etc.

As propriedades visuais da forma, para Ching, são o contorno (que determina seu aspecto), o tamanho, a cor, a textura, a posição em relação a seu campo de visão, a orientação em relação ao seu plano de sustentação, e a inércia visual. Esta última é o grau de conceituação e estabilidade visual da forma, e está diretamente relacionada à sua geometria, assim como às propriedades de posição e orientação. Já o contorno nos remete à questão do **formato**. Wong (2001) chama a atenção para o fato de que **formato** e **forma** são freqüentemente usados como sinônimos embora tenham significados diferentes. Assim o **formato** seria a área contida em um contorno.

⁴ Escola da Gestalt, criada na Alemanha em 1910.

Para Wong (2001), “formas apresentam alguma profundidade e algum volume – características associadas a figuras tridimensionais, enquanto formatos são formas mostradas de determinados ângulos, de determinadas distâncias”. Ou seja, o **formato** está relacionado aos diferentes aspectos sob os quais a **forma** possa se apresentar aos nossos olhos. Quando uma **forma** é girada no espaço, a cada passo desta rotação um aspecto diferente será visto. Pode-se dizer, portanto, que forma diz respeito à totalidade, e o formato às partes, à decomposição em aspectos.

Outros elementos também tem influência na maneira como são percebidas as figuras: a **dimensão predominante**, que pode determinar a predominância ora da largura, ora do comprimento, que são as duas principais dimensões de uma figura. Por exemplo, um quadrado apoiado pelo seu vértice tende a ser percebido como uma figura diferente do mesmo quadrado que se apóia sobre um de seus lados (Figura 1.05).

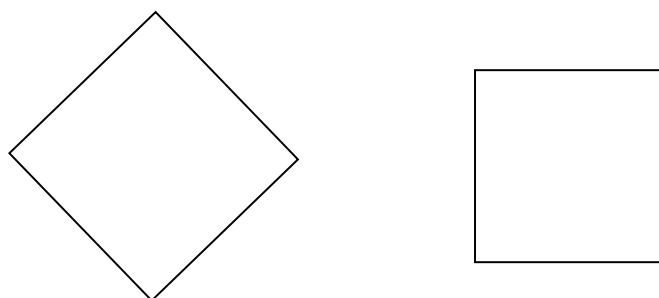


Figura 1.05: A percepção da figura muda conforme mudamos a posição do apoio.

A impressão de **profundidade** pode ser obtida por exemplo, colocando-se um objeto cobrindo parcialmente outro, quando então o que cobre será percebido como mais próximo do que o outro (Figura 1.06), ou ainda colocando-se dois objetos com a mesma forma, e com tamanhos diferentes, fazendo com que o maior pareça mais próximo (Figura 1.07).

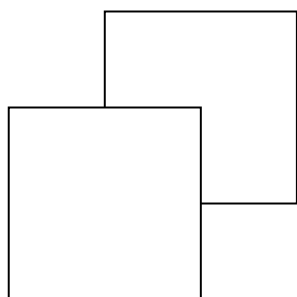


Figura 1.06: O quadrado que está cobrindo o outro parece estar mais próximo.

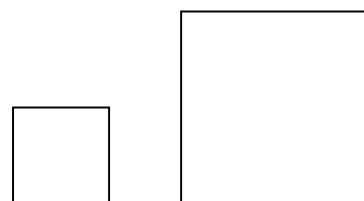


Figura 1.07: O quadrado menor parece estar mais distante

O estudo das propriedades geométricas da **forma**, como colocado anteriormente, remete à três momentos: uma abordagem da geometria propriamente dita, sua classificação e características; o estudo dos sólidos e das superfícies, de como são geradas, seus principais elementos; e de sua representação – numérica e gráfica, esta última, através dos instrumentos tradicionais de desenho e da utilização da tecnologia computacional.

1.2 GEOMETRIA

1.2.1 Breve Histórico

A palavra vem do grego “*geo*” = terra, e “*metrein*” = medir, portanto significa “medida da terra”. Esta ciência desenvolveu-se inicialmente em função da necessidade dos antigos egípcios de refazerem as marcações de terra às margens do rio Nilo, que eram destruídas a cada cheia, todos os anos. Com o passar do tempo seu significado tornou-se mais abrangente, transformando-se na ciência que, através de métodos matemáticos, trata da exata determinação de lugares no espaço, e investiga e descreve as **formas**, planas e espaciais, de objetos.

Os gregos foram os grandes geômetras da Idade Antiga. O grande organizador da geometria grega é Euclides (300 a. C.), que reuniu, organizou e divulgou, através do seu livro Elementos, todo o conhecimento geométrico produzido até então, originando a chamada Geometria Euclidiana. Este livro era composto de treze

capítulos: os seis primeiros sobre geometria plana elementar, os três seguintes sobre a teoria dos números, o décimo capítulo sobre os números incomensuráveis, e os três últimos, na sua maior parte sobre geometria espacial.

Segundo Atique (2003), Euclides e seus predecessores partiram da premissa de que não se pode provar tudo e, para construir uma estrutura lógica, uma ou mais proposições são admitidas como axiomas a partir dos quais todas as outras são deduzidas.

Assim, Euclides apresentou seus axiomas em dois grupos: as noções comuns e os postulados. As noções comuns parecem ter sido consideradas como hipóteses aceitáveis a todas as ciências ou admissíveis por qualquer pessoa, enquanto os cinco postulados seriam hipóteses peculiares da Geometria.

As Noções Comuns são as seguintes:

1. Coisas que são iguais a uma mesma coisa são também iguais;
2. Se iguais são adicionados a iguais, os totais são iguais;
3. Se iguais são subtraídos de iguais, os restos são iguais;
4. Coisas que coincidem uma com a outra, são iguais;
5. O todo é maior do que qualquer uma das partes.

Os Postulados são:

1. Pode-se traçar uma (única) reta ligando quaisquer dois pontos;
2. Pode-se continuar (de uma única maneira) qualquer reta finita, continuamente, em uma reta;
3. Pode-se traçar um círculo com qualquer centro e com qualquer raio;
4. Todos os ângulos retos são iguais;
5. É verdade que, se uma reta ao cortar duas outras, forma ângulos internos, no mesmo lado, cuja soma é menor do que dois ângulos retos, então as duas retas, se continuadas, encontrar-se-ão no lado onde estão os ângulos cuja soma é menor do que dois ângulos retos.

Muitas provas do quinto postulado foram propostas, mas geralmente continham uma suposição equivalente ao que se estava querendo provar, tais como as seguintes:

1. Duas retas que se interceptam não podem ser paralelas a uma mesma reta;
2. Retas paralelas têm distância constante uma da outra;
3. A soma dos ângulos internos de um triângulo é 180° ⁵.

Nessa tentativa de provar o quinto postulado, Saccheri⁶ obteve resultados que ele considerou inconsistentes, mas que na verdade, viriam a ser depois, os fundamentos da **Geometria Hiperbólica**.

A partir do século XIX, os matemáticos já não se satisfaziam com a Geometria Euclidiana para resolver os problemas da forma no espaço. Assim, outros matemáticos deram também sua contribuição na evolução desta ciência.

Conforme Crawford (2003) e Kubrusly (2003) hoje sabe-se que o axioma das paralelas não pode ser reduzido a outro axioma mais básico sendo, portanto, de fundamental importância para distinguir o espaço euclidiano de outros possíveis.

Há duas maneira de negar a unicidade das paralelas no quinto postulado de Euclides:

1. admitir que por qualquer ponto fora de uma reta dada, é possível passar pelo menos duas paralelas a esta reta;
2. admitir que nenhuma paralela é possível, isto é, que o espaço não admite paralelas.

No primeiro caso, serão obtidas as chamadas **Geometrias Hiperbólicas**, e no segundo, o espaço sem paralelas que é chamado de **Geometria Elíptica**.

⁵ A primeira formulação foi proposta por John Playfair, geólogo e matemático escocês, nascido em 1748. Proclus foi o responsável pela segunda formulação e Adrian-Marie Legendre, matemático francês, nascido em 1752, redigiu a terceira formulação.

⁶ Jesuit Saccheri, matemático italiano, que viveu entre 1667-1773. Foi o precursor das geometrias não euclidianas e criador do famoso quadrilátero que leva seu nome e que sugere a não existência dos retângulos. In: <www.dmm.im.ufrj.br/projeto/diversos/gngaleria.htm>. Acesso em 07 jan. 2004.

Descrevendo estas geometrias, diz Crawford: “Dentre estes outros espaços possíveis existem dois que também são uniformes – assim como o espaço euclidiano -, ou seja, são homogêneos e isotrópicos, pois todos os seus pontos e todas as suas direções são equivalentes”. O primeiro espaço foi desenvolvido por Gauss, Lobatchevsky e Janos Bolyai, que, trabalhando isoladamente, desenvolveram sistemas coerentes desta geometria não-euclidiana. Uma teoria mais geral, hoje conhecida como **Geometria Riemanniana**, que inclui a Euclidiana, a Hiperbólica e a Esférica, foi desenvolvida pelo alemão Georg Friedrich Riemann (1826 -1866), e é a geometria mais adequada em diversas situações, inclusive para a descrição de fenômenos astronômicos, e na qual Albert Einstein se baseou para a sua Teoria da Relatividade.

Resumindo estes três espaços numa linguagem simples, pode-se dizer que:

1. Num espaço euclidiano por um ponto dado só passa uma reta paralela a outra reta dada e a soma dos ângulos internos de um triângulo é igual a dois ângulos retos, ou seja, 180° ;
2. No espaço hiperbólico, por um dado ponto passam muitas paralelas à uma reta dada, e a soma dos ângulos internos de um triângulo é sempre menor que dois ângulos retos, logo, menor que 180° ;
3. Finalmente, no espaço com geometria esférica ou elíptica, não existe nenhuma paralela à uma reta dada e a soma dos ângulos internos de um triângulo é maior que dois ângulos retos, portanto, maior que 180° .

O conceito das dimensões fracionárias também surgiu no século XIX e se relaciona com a teoria do Caos, sendo que a primeira confirmação da sua existência foi feita pelo francês Henri Jules Poincaré em 1879. Com o surgimento e o avanço da Computação Gráfica foi possível dimensionar sua complexidade, nascendo daí a **Geometria Fractal**. O responsável pela sua investigação e denominação, sendo por isso conhecido como o “pai” da Geometria Fractal, foi o matemático polonês B. B. Mandelbrot, em 1975.

A teoria do Caos surgiu tendo como objetivo compreender e dar resposta à fenômenos onde não havia previsibilidade, que não podiam ser previstos por leis matemáticas. Por exemplo, o gotejar de uma torneira, as variações climáticas e as oscilações da bolsa de valores.

Numa definição bastante sintética, pode-se dizer que o caos corresponde à um comportamento estocástico que ocorre num sistema determinístico. Uma definição que à primeira vista parece paradoxal, já que o primeiro é governado pelo acaso, enquanto que o segundo é governado por leis exatas. Entretanto o que se observa é que existe uma regra que é seguida, mas num intervalo quase aleatório, o que faz com que as equações sejam incapazes de determinar o padrão de comportamento.

Através de estudos de modelos matemáticos e métodos computacionais, vem sendo constatado pelos cientistas, segundo Lamy Jr. (2000), que “os sistemas caóticos são determinísticos, regidos por equações matemáticas precisas do tipo não linear, e que sua imprevisibilidade está relacionada com a sensibilidade às condições iniciais”.

Assim, existem inúmeros fenômenos na natureza que não podem ser descritos pela Geometria Euclidiana, devido à sua irregularidade, mas que podem ser descritos pela Geometria dos Fractais.

O nome fractal vem do latim e significa quebrar, criar fragmentos irregulares. Um fractal pode ser definido como uma forma geométrica fragmentada, que pode ser subdividida infinitamente em partes, sendo cada uma delas, pelo menos aproximadamente, uma cópia reduzida do todo.

Os fractais tem como características básicas a iteração e são auto-similares, ou seja, a parte assemelha-se ao todo tendo a repetição como base do seu processo de construção e assim, apresentam o mesmo grau de irregularidade independente da escala.

Observe-se que a Geometria Euclidiana, do ponto de vista da análise concreta do espaço tridimensional, trabalha com elementos que tem, no máximo, três dimensões. Conceitualmente, um ponto é adimensional (logo, dimensão zero), a linha é unidimensional (dimensão 1), as superfícies são bidimensionais (dimensão 2) e os sólidos são tridimensionais (dimensão 3). Já no caso dos fractais, a dimensão é fracionária.

Segundo Antikeira (2002), uma curva irregular, ao se formar sobre uma superfície, pode se tornar nos seus extremos tão irregular que efetivamente “preenche” completamente a superfície em que ela reside. Assim, segundo este autor, a irregularidade pode ser pensada

[...] como um aumento na dimensão: uma curva irregular possui uma dimensão intermediária entre 1 e 2, enquanto que uma superfície irregular possui uma dimensão entre 2 e 3. Em ambos os casos, a dimensão é fracionária. A dimensão de uma curva fractal é um número que caracteriza a maneira na qual a medida do comprimento entre dois pontos aumenta à medida que a escala diminui.

A dimensão fractal tem sido considerada como uma transição entre duas dimensões euclidianas regulares, entretanto não pode ser determinada analiticamente, sendo seu cálculo feito por estimativas.

As figuras a seguir mostram as etapas de formação de alguns fractais teóricos bastante conhecidos.

A figura 1.08 mostra o Conjunto Fractal de Cantor, obtido dividindo-se inicialmente o segmento AB em três partes auto-similares, retirando-se a seguir a parte central. Repete-se o processo, retirando-se de cada intervalo restante a respectiva terça parte mediana. Num processo iterativo, chega-se ao Conjunto.

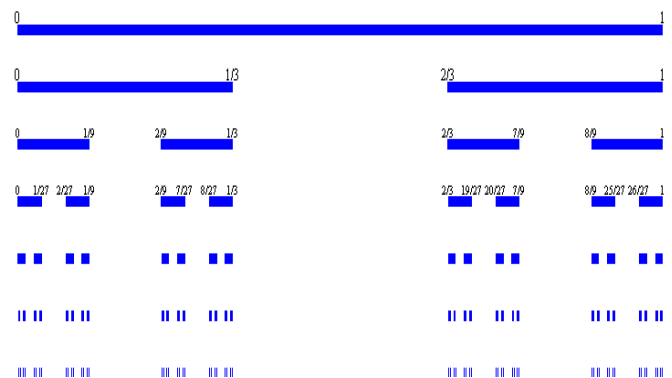


Figura 1.08: Conjunto de Cantor

A figura 1.09 ilustra as etapas de formação da Curva de Koch. A partir de um segmento de linha reta, este é dividido em três partes iguais, e a terça parte mediana é substituída por um triângulo equilátero cuja base é removida. Através de sucessivas repetições no processo, verifica-se que o comprimento da linha tenderá a infinito.



Figura 1.09 Curva de Koch

Outro fractal bastante conhecido é o triângulo de Sierpinski, ilustrado na figura 1.10, onde partindo-se da construção do triângulo ABC, escurecido, remove-se o triângulo equilátero definido pelos pontos médios dos lados. O processo é repetido continuamente em todos os triângulos que permanecem escurecidos.

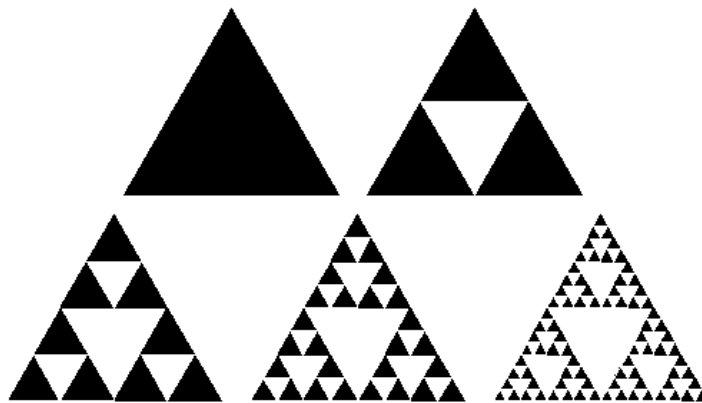


Figura 1.10: Triângulo de Sierpinski

Fractal, portanto, é a geometria do Caos determinista e também a geometria da natureza, que tem permitido o estudo de diversas características de objetos reais tais como rugosidade, tortuosidade, aspereza, saliência, textura, etc.

Deve-se chamar atenção, entretanto, para o fato de que fractais verdadeiros existem apenas no plano conceitual, já que os objetos reais não revelam quantidades infinitas de detalhes quando observados em escalas diferentes, que os fractais teóricos oferecem. Tanto seu estudo como aqueles sobre o Caos são ainda controversos por serem muito recentes, surgidos há menos de 30 anos, entretanto já tem dado contribuições em muitas áreas do conhecimento humano. No cinema, tem sido usados para criar realidades virtuais terrestres e efeitos especiais, na geologia tem auxiliado na compreensão da distribuição de estruturas hexagonais em bacias hidrográficas, bem como na descrição geométrica de linhas costeiras, montanhas, nuvens, e vários outros fenômenos naturais.

Um ponto a ser observado é quanto à sua aplicação na geração de formas arquitetônicas. Um das características de um objeto arquitetônico é a sua construtibilidade, ou seja, a possibilidade de ser construído, edificado. Essa questão envolve a locação do objeto a ser construído, na obra, ou seja, a marcação de fundações, alinhamento de pilares, paredes, vigas, etc. Essas questões são solucionadas através da geometria euclidiana, trabalhando-se com a marcação dos pontos principais do objeto nos eixos **x**, **y** e **z**. Assim, quando o objeto arquitetônico é gerado a partir de fractais, um problema a ser resolvido é o da ligação entre os fractais e a sua representação para a construção deste objeto, que se dá através da geometria euclidiana. Segundo Dantas (1992, p. 122), a solução está em se utilizar *software* geradores de fractais, que trabalhem com a função fractal e não com a imagem espectral dessa função. Assim, será possível fazer o seu mapeamento em um sistema tridimensional cartesiano, em um padrão que permita que seus pontos notáveis sejam depois “exportados” para um ambiente CAD.

Além da abordagem cronológica relativa ao surgimento das diversas geometrias, com relação aos objetos e métodos de estudos tem-se: as Geometrias Axiomática, Gráficas (Plana e a Projetiva), Analítica, Diferencial e Computacional.

Resumidamente pode-se definir cada uma delas como segue. A **Geometria Axiomática** preocupa-se com a construção de modelos geométricos a partir de propriedades pré-definidas (axiomas) dos objetos. A **Geometria Gráfica**, como o

próprio nome diz, destina-se à resolução gráfica de problemas geométricos. Quando estes problemas são resolvidos a partir de construções de figuras planas, trata-se da **Geometria Plana** ou, como é mais comumente denominada, **Desenho Geométrico**. Já a parte da geometria gráfica que investiga as propriedades das configurações invariantes sob a operação de projeção é denominada de **Geometria Projetiva**. A **Geometria Analítica** surgiu quando, em 1637, René Descartes forjou uma conexão entre a geometria e a álgebra, sendo este seu fundamento, no qual as figuras são representadas através de expressões algébricas. A **Geometria Diferencial** investiga as propriedades métricas das curvas, superfícies e volumes, através de métodos de análise matemática. O estudo dos problemas geométricos sob o ponto de vista "algorítmico" é o propósito da **Geometria Computacional**. Recentemente, com a aplicação das tecnologias computacionais ao ensino, surge a denominação de **Geometria Dinâmica** para o trabalho com as construções geométricas de maneira interativa e com animação.

1.2.2 A Geometria e seu Estudo

Segundo Costa (1996), a Geometria pode ser estudada de três maneiras: axiomática, analítica ou graficamente. Nos dois primeiros casos ela é estudada em associação com outros ramos da Matemática. Graficamente, ela tem sido objeto de estudo das disciplinas de Desenho. Como colocado, denomina-se de Geometria Gráfica aquela que estuda, através do desenho, as propriedades da Forma. Quando estuda apenas as figuras planas vale-se para isto da disciplina conhecida como Desenho Geométrico Plano, trabalhando-as diretamente no plano do desenho. Quando trabalha com os objetos tridimensionais, vale-se dos Sistemas de Representação para transpor seu estudo para o desenho bidimensional.

Representação é, segundo os dicionaristas, o “ato ou efeito de representar, de ser a imagem ou a reprodução, de figurar, aparentar, reproduzir, descrever”. Neste trabalho a Representação Gráfica de um objeto será definida como sendo uma forma de expressão, uma linguagem que o descreve, por meios gráficos, analógicos ou digitais.

Os Sistemas de Representação são conjuntos de princípios e regras que norteiam a representação de objetos. Dentre estes, estão os sistemas de projeção que embasam a Geometria Projetiva⁷: o Sistema Cônico e o Sistema Cilíndrico.

Num Sistema de Projeção as projetantes partem sempre de um ponto, ou no sentido inverso, convergem para um mesmo ponto, denominado de centro de projeção. No Sistema Cônico de Projeção, parte-se do princípio que este centro de projeção está a uma distância “finita” do plano de projeção (Figura 1.11). Este é o sistema adotado pelo método da Perspectiva dita exata. Já no Sistema Cilíndrico o centro de projeção situa-se a uma distância dita “infinita” do plano de projeção. As projetantes são então paralelas entre si, convergindo para um ponto impróprio, que é o centro de projeção. Este Sistema é o adotado pelas Perspectivas ditas paralelas e pela Geometria Descritiva, que por sua vez é a base do Desenho Técnico (Figura 1.12).

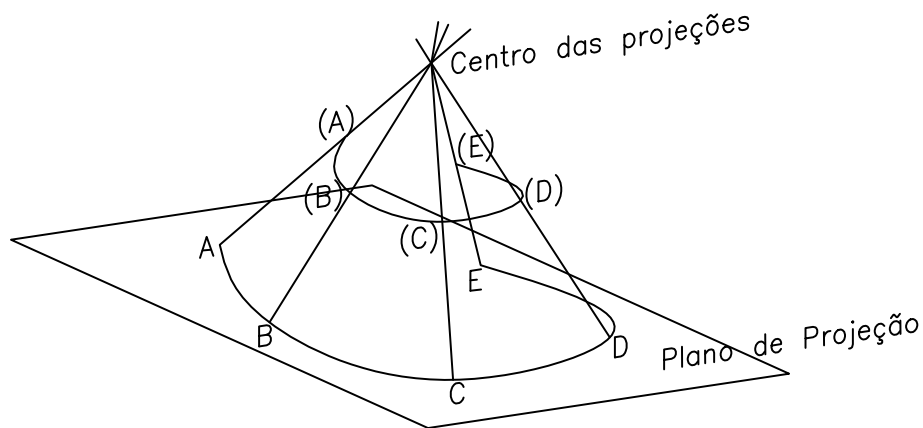


Figura 1.11: Sistema Cônico de Projeção

⁷ A Geometria Projetiva estuda os objetos através de sua projeção sobre um ou mais planos, utilizando-se de métodos diversos e baseada em diferentes Sistemas de Projeção. As projeções são obtidas fazendo-se passar por pontos do objeto a ser projetado, retas que irão interceptar um plano determinado, chamado de plano de projeção. Assim, a interseção desta reta, denominada projetante, com o plano de projeção resultará na projeção do ponto.

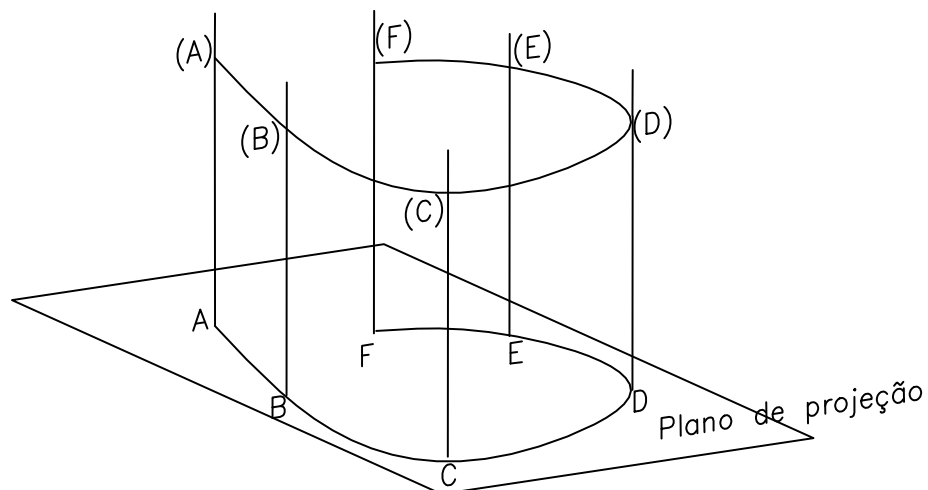


Figura 1.12: Sistema Cilíndrico de Projeção

O Desenho Técnico é o desenho projetivo, baseado nas projeções mongeanas ortogonais⁸, acrescido de convenções que traduzem as dimensões, a função e o material de que é constituído o objeto. O Desenho Técnico é usualmente acrescido de adjetivação que identifica o setor ao qual se destina, como por exemplo o Desenho Arquitetônico, Mecânico, de Construção Civil, Topográfico, Cartográfico, etc. Entretanto convém observar que mesmo quando são usados métodos que representam as três dimensões euclidianas, como no caso das perspectivas, trata-se de um desenho plano, pois desenvolve-se sobre uma superfície que é bidimensional⁹.

1.3 FORMA E GEOMETRIA

Na organização da forma arquitetônica, a geometria tem presença inevitável, tanto na ordenação da configuração geral como no inter-relacionamento das partes.

⁸ O método mongeano de projeções baseia-se no sistema cilíndrico ortogonal, portanto tem as projetantes paralelas entre si e perpendiculares ao plano de projeção. Desenvolve-se a partir de dois planos de projeção também perpendiculares entre si. É assim chamado, por ter sido idealizado em finais do século XVIII pelo matemático francês Gaspar Monge, que viveu de 1746 a 1818 e definiu os princípios da Geometria Descritiva, sendo considerado por isso seu criador.

⁹ Neste trabalho apenas os modelos físicos – maquetes, são considerados como representações tridimensionais. Mesmo as maquetes “virtuais”, ou seja, as representações obtidas por meios computacionais, são consideradas como representações planas, pois sua visualização se dá também sobre uma superfície bidimensional (na tela do computador ou impressa), ou seja, apesar de dar uma ilusão do tridimensional, trata-se apenas de uma simulação, sendo uma representação bidimensional.

Segundo Barki (2002),

[...] as formas reais são as coisas do mundo sensível e devem sua existência a causas físicas, biológicas, funcionais e/ou finais, ou sócio-culturais. [...] Já as formas ideais são os modelos abstratos produzidos pela imaginação humana, [...] são perfeitamente regulares, exatos em medida e contorno, teoricamente fixos e estáveis e identicamente reproduzíveis.

Assim, a geometria auxilia na compreensão das coisas do mundo sensível, para nele intervir.

A Geometria Euclidiana foi o principal instrumento até o século XIX para interpretar com rigor matemático formas reais. Hoje dispõe-se de novas geometrias para descrições convincentes de formas complexas. Entretanto observa-se que a Geometria Euclidiana permanece sendo o instrumento que mais favorece a interpretação imediata da forma, principalmente quando aplicada à construção e ao projeto arquitetônico.

1.3.1 Geração da Forma Arquitetônica

Para Ching (1982, p.64), as formas podem ser percebidas “como uma transformação dos sólidos primários, variações, fruto da manipulação dimensional ou da adição ou subtração de elementos”. São **sólidos¹⁰ primários ou fundamentais** a esfera, o cilindro, o cone, a pirâmide e o prisma. Definindo cada um deles, temos:

- A esfera pode ser definida como o sólido gerado pela rotação de um semi-círculo em torno de seu diâmetro;
- O cilindro reto é o sólido resultante do deslocamento de um círculo ao longo de um eixo que passa perpendicularmente por seu centro ou também pode ser definido como o sólido obtido pela rotação de um retângulo em torno de um de seus lados;
- O cone reto é o sólido obtido pela rotação de um triângulo retângulo em torno de um dos catetos, ou o sólido resultante do deslocamento de um

¹⁰ Não confundir os sólidos geométricos com as superfícies geométricas. Estas, são geradas por linhas, enquanto os sólidos são gerados por figuras planas (polígonos, círculos, etc). A superfície é apenas o envoltório do poliedro. Para a existência de sólidos, temos que ter uma superfície limitada em todas as dimensões, e considerar tanto a superfície quanto o espaço interno por ela delimitado.

círculo ao longo de um eixo que passa perpendicularmente por seu centro e tendo seu diâmetro constantemente reduzido até chegar a zero – resultando no vértice do cone;

- A pirâmide reta é um poliedro¹¹ cuja base é um polígono qualquer e as faces laterais são triângulos que concorrem num ponto chamado vértice da pirâmide;
- O prisma reto é o poliedro formado por duas faces poligonais iguais, chamadas bases e situadas em planos paralelos, e por faces laterais que são paralelogramos retângulos, que têm um lado em comum com cada uma das bases, fazendo com elas ângulo de 90° (Figura 1.13).

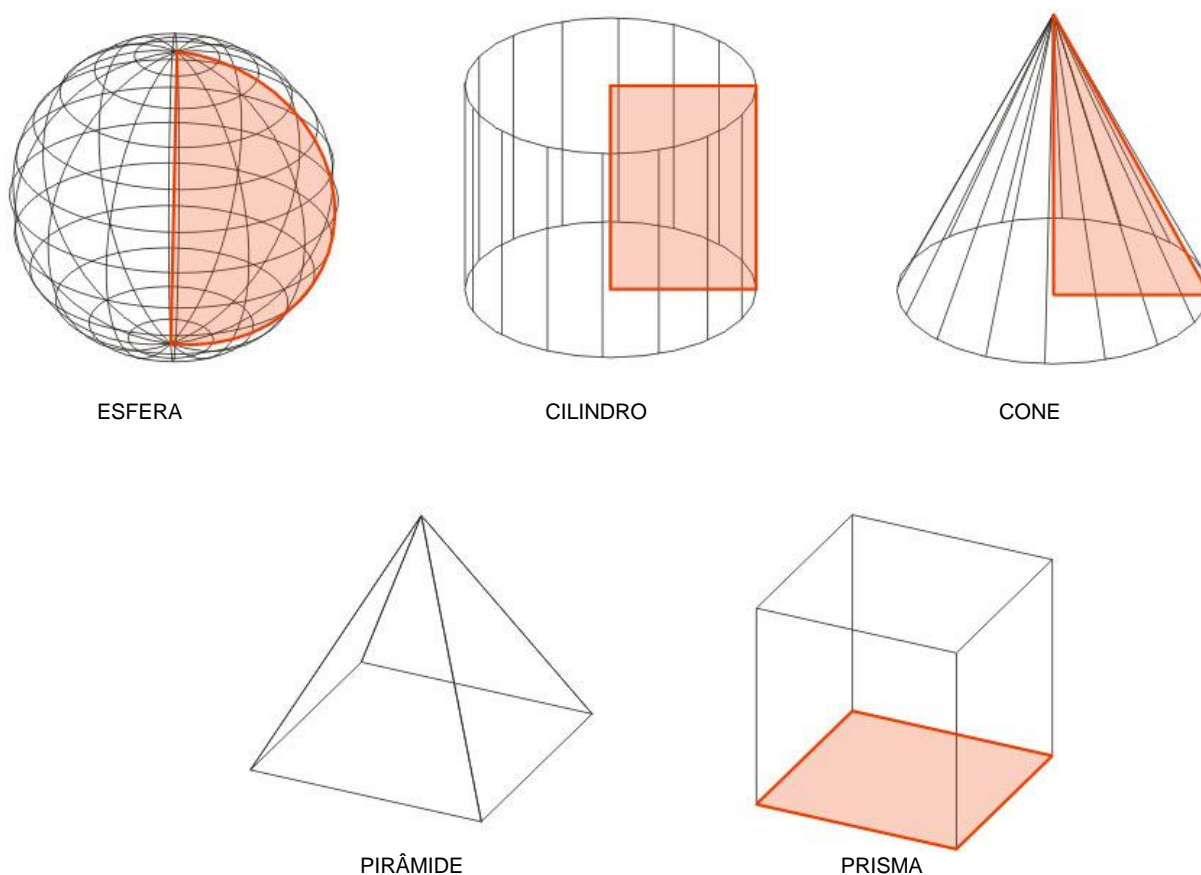


Figura 1.13: Sólidos primários

¹¹ Poliedros, conforme Fonseca (1999) são sólidos geométricos, limitados por um conjunto finito de regiões poligonais planas, de modo que cada lado de um polígono, a aresta do poliedro, será contíguo de outro e que as faces contíguas não estão em um mesmo plano.

Alguns autores destacam entre os poliedros, os sólidos Platônicos, poliedros regulares, compostos por faces iguais e ângulos internos também iguais. São eles: o tetraedro - quatro triângulos eqüiláteros; o hexaedro (ou cubo) – seis quadrados; o octaedro – oito triângulos eqüiláteros; o dodecaedro – doze pentágonos regulares; e o icosaedro – 20 triângulos eqüiláteros (Figura 1.14).

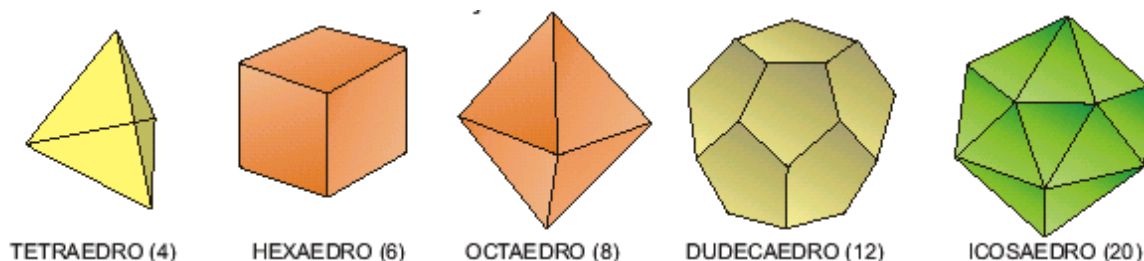


Figura 1.14: Sólidos Platônicos ou regulares

Barki considera que a geração da **forma** arquitetônica se caracteriza principalmente pela ampla liberdade de escolha e por influências de ordem sócio-cultural, ao que devem ser acrescentados outros fatores tais como as influências de ordem econômica, funcionais e tecnológicas. Ela é basicamente determinada pela relação entre os seus elementos constitutivos, a partir de esquemas básicos que ordenam estes elementos em função de uma idéia ou tema, a partir de uma **intenção compositiva**.

Compor, de maneira geral, segundo o dicionário é combinar, fazer, construir, consertar, arranjar, harmonizar (BUENO, 1975). Pode-se considerar que a composição do objeto consiste numa criação do todo através de suas partes. Em arquitetura, Corona Martinez citado por Rocha (2001, p. 58), define o ato de compor, em arquitetura, como sendo “relacionar partes para formar um todo e decidir qual será a relação entre essas partes, refletindo questões significativas de forma, espaço e ordem em arquitetura”. Também Mahfuz (1995, p. 17) assim define a composição: “[...] arranjo das partes da arquitetura como elementos de uma sintaxe, de acordo com certas regras a priori, para formar um todo”. As regras deste arranjo são o que será aqui denominado de Estrutura, e tanto estas como a Composição serão objeto de uma análise mais detalhada mais adiante, quando forem discutidas as questões referentes ao processo de projeto.

A organização da forma final, dos seus elementos, ou seja, a composição, pode ser então, como já foi visto, determinada por diversos fatores. Sua criação pode ser entendida como um processo de organização e desenvolvimento com elementos básicos. Uma forma complexa origina-se de elementos de base (ou formas básicas), segundo determinados princípios e regras, tais como equilíbrio, contraste, harmonia, proporção, ritmo, unidade – variedade, repetição, etc.

Nesta etapa do trabalho importa observar que, a geração da forma arquitetônica se tratando de uma composição, seja a partir de elementos geométricos definidos ou livres, parte de um repertório que deve ser conhecido. Na geração formal as informações sobre os elementos (partes) da composição constituem ponto de partida, daí a necessidade destes serem identificados enquanto formas/superfícies geradoras.

1.3.2 Superfícies Geométricas

A maior parte das formas arquitetônicas, na sua manipulação e representação durante o processo de projeto, requer a definição de suas superfícies ou superfícies de origem. Assim, podem ser definidos contornos, interseções, pontos e arestas de corte, de superposição, etc.

A superfície é a extensão a duas dimensões, sendo apenas o limite da extensão a três dimensões ou volume; daí a infinidade de formas realizadas e imaginadas pelas quais ela se apresenta comumente. [...] As superfícies compreendem não só as formas suscetíveis de definição geométrica, mas também as que não o são” (RODRIGUES, 1968, p. 247).

Estudando as superfícies caracterizadas por propriedades geométricas definidas, estas devem ser agrupadas de maneira racional, classificadas e analisadas quanto à seus principais elementos.

Existem superfícies que admitem uma lei de geração, ou seja, um conjunto de regras que permitem sua geração, perfeita identificação ou caracterização, sendo chamadas de **superfícies geométricas**. Em outras superfícies isto não se aplica como, por exemplo, as **superfícies topográficas**.

No caso das superfícies geométricas, que possuem lei de geração, Monge¹² estabeleceu como seus elementos principais:

- a geratriz : linha móvel que descreve a superfície;
- a lei de geração: determinação do movimento de cada forma linear, sem nada deixar de arbitrário quanto à posição e grandeza da geratriz;
- as diretrizes: linhas ou superfícies fixas que determinam, em relação à geratriz, em cada posição, as condições peculiares da lei de geração de uma superfície

Assim, pela natureza da geratriz, ele definiu duas grandes classes: a das superfícies geradas por

- a- reta;
- b- curva.

Na classe das superfícies geradas por retas, criou dois grandes grupos: 1 – o das Superfícies Desenvolvíveis, ou planificáveis, onde se encontram as superfícies cônicas em geral, as superfícies cilíndricas em geral e as superfícies de aresta de reversão (helicóide desenvolvível); 2 – grupo das Superfícies Reversas, que não podem ser desenvolvidas ou planificadas, onde temos os hiperbolóides escalenos de uma folha, o parabolóide escaleno de uma folha, o parabolóide hiperbólico, o cilindróide, o conóide e os helicóides axiais de plano e de cone diretor.

Já na classe das Superfícies geradas por curvas, também dois grupos foram identificados: 1- grupo das Circulares em geral, subdividido no sub-grupo das Circulares de Revolução, onde estão o cone de revolução, o cilindro de revolução, a esfera, o elipsóide de revolução, o parabolóide de revolução e o hiperbolóide de revolução de uma e duas folhas; e o sub-grupo das Circulares de Circunvolução onde se encontram o toro circular e a serpentina; 2- grupo das Quádricas em geral, divide-se também em dois sub-grupos: o das Superfícies de Primeira Espécie, com o cone de 2^a. ordem, o cilindro de 2^a. ordem, o parabolóide elíptico, o elipsóide

¹² Por ter sido Monge um grande estudioso das superfícies, sua definição e classificação para as Superfícies Geométricas são até hoje admitidas e utilizadas.

escaleno e hiperbolóide escaleno de uma e duas folhas; e o sub-grupo de 2^a. Espécie, onde são encontrados o toro elíptico, hiperbólico e parabólico. Exemplos de superfícies geradas por curvas podem ser vistos na figura 1.15.

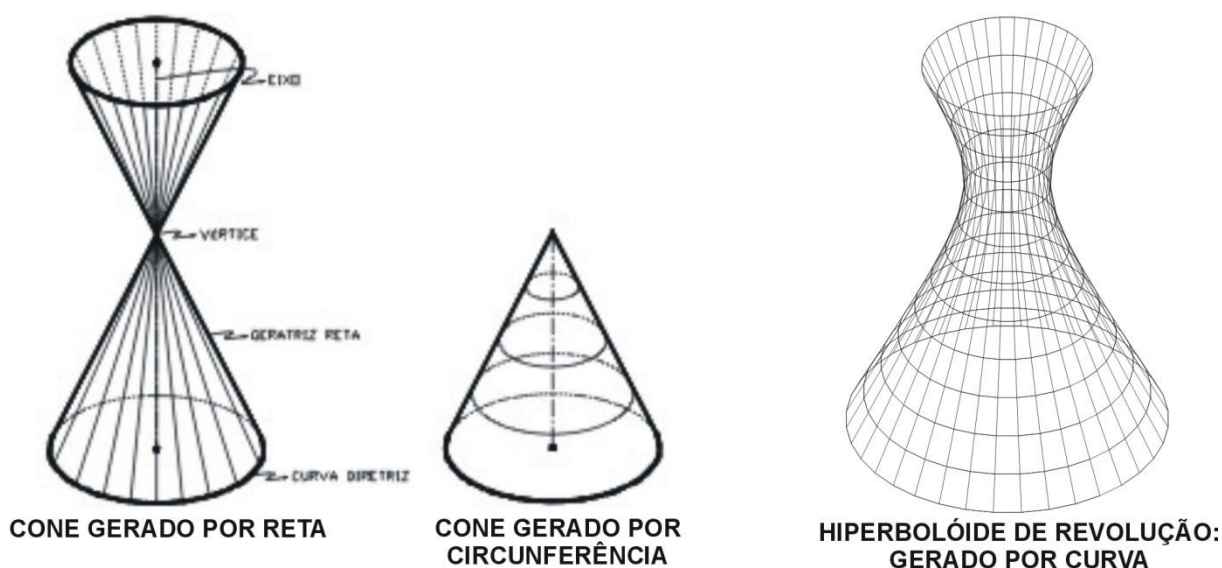


Figura 1.15: Superfícies geradas por retas e por curvas

Na classificação de Monge, não estavam incluídos os Poliedros, que foram estudados à parte. Entretanto, pode-se entender a Superfície Poliédrica como passível de assim ser definida, já que esta preenche os requisitos para ser considerada como superfície: tem geratriz, segue uma diretriz e obedece à uma lei de geração, que varia em função da superfície ser piramidal ou prismática. Desta forma as superfícies poliédricas podem ser definidas como aquelas obtidas a partir do deslocamento de uma geratriz reta apoiada em uma diretriz poligonal.

A figura 1.16 traz um quadro síntese das superfícies, que tem como base a classificação Mongeana. Nele, observa-se que, às vezes, uma mesma superfície pode ser gerada de mais de uma maneira, e assim pode ser classificada em mais de uma classe ou grupo.

Classe das Superfícies Geradas por Retas	Grupo das Superfícies Desenvolvíveis	Superfícies Poliédricas Sup. Cônicas em geral Sup. Cilíndricas em geral Sup. de aresta de reversão, helicóide desenvolvível.	
	Grupo das Superfícies Reversas	Hiperbolóide Escaleno de uma folha Parabolóide Hiperbólico Cilindróide Conóide Helicóides Axiais de Plano e de Cone Diretor	
Classe das Superfícies Geradas por Curvas	Grupo das Circulares em geral	Circulares de Revolução	Cone de Revolução Cilindro de Revolução Esfera Elisóide de Revolução Alongado e Achatado Hiperbolóide de Revolução de uma e duas folhas Parabolóide de Revolução
		Circulares de Circunvolução	Toro Circular Serpentina
	Grupos das Quádricas em geral	Sub-grupos de 1ª espécie	Cone de 2ª ordem Cilindros de 2ª ordem Parabolóide elíptico Elipsóide escaleno e hiperbolóide escaleno de uma e duas folhas.
		Sub-grupos de 2ª espécie	Toro elíptico, hiperbólico parabólico.

Figura 1.16: Classificação Mongeana das Superfícies

Um exemplo de superfície que pode ser classificada em mais de um grupo é o cone circular. Essa superfície pode ser caracterizada como uma superfície de revolução, pois pode ser gerada por uma linha reta que, apoiada em uma outra linha em um ponto que denominamos vértice, percorre uma diretriz circular, e na qual duas posições infinitamente próximas da geratriz estão situadas no mesmo plano, o que faz com que ela possa ser desenvolvida (Figura 1.15, esquerda). Entretanto, a superfície cônica também pode ser gerada pelo deslocamento de uma circunferência, cujo centro descreve uma reta perpendicular ao círculo, variando o raio da circunferência geratriz de maneira que a distância do centro ao vértice do cone seja proporcional ao comprimento do raio, portanto variando de grandeza a

geratriz (Figura 1.15, centro). Neste caso, não é passível de ser desenvolvida, pois o desenvolvimento implica numa “abertura” ao longo de uma geratriz, de maneira que a superfície seja distendida sobre um plano, sem que haja contração de nenhuma de suas partes.

1.3.3 Tipologia das Formas

Neste estudo, as formas serão classificadas quanto à sua tipologia em Formas Convencionais e Formas Não Convencionais.

Serão classificadas como formas convencionais, aquelas resultantes da composição de formas elementares, neste caso, dos sólidos primários ou fundamentais já definidos anteriormente. Caracterizam-se por sua fácil definição geométrica e conseqüentemente são também de fácil representação gráfica.

As formas não convencionais serão aquelas menos usuais, resultantes da utilização isolada ou em composições, das superfícies geradas por curvas cônicas (elipsóide, parabolóide e hiperbolóide de revolução), por retas reversas (parabolóides hiperbólicos, conóides, helicóides), ou ainda aquelas geradas através de movimentos livres, geralmente a partir de linhas curvas, como por exemplo as superfícies topográficas, e cuja definição geométrica vem sendo melhor explicitada através de geometrias não euclidianas (como a dos fractais, por exemplo). A esse respeito, Wong coloca que as formas abstratas e aquelas elaboradas pelo homem são mais facilmente expressas como formatos geométricos, enquanto que as naturais são mais facilmente descritas como formas orgânicas.

2. TECNOLOGIA

2.1 TECNOLOGIA E ARQUITETURA

De uma maneira geral, a **tecnologia** é definida pelos dicionaristas como sendo a ciência das artes e dos ofícios em geral. Já por **técnica** entende-se o conjunto dos métodos destinados à execução de uma arte ou profissão.

Duarte (1999) faz referência à distinção entre técnica e tecnologia e aos momentos em que cada uma delas assume um papel preponderante. Assim, com a Revolução Industrial a técnica se torna autônoma, sendo por ele definida como “modo de fazer uma operação mental que possibilita a interação entre o homem e sua obra, que se dá através de instrumentos que se estendem e adaptam as habilidades manuais à matéria com que se vai trabalhar”.

Já, com as máquinas a vapor, há uma transformação no papel da técnica que “passava a ser intermediador ativo entre as intenções do homem e a concretização de suas obras” (DUARTE, 1999, p. 13).

Este mesmo autor também descreve a diferença entre a técnica e a tecnologia. Enquanto esta última “se instaura e se identifica como a transferência de um determinado conhecimento e sua instrumentalização num aparelho que opera sempre com essas especificidades”, na técnica os instrumentos não tem função pré-

definida, dependendo da intenção do artesão que está manipulando estes instrumentos. Cita como exemplo um alicate, que servia para fazer inúmeras coisas, dependendo da intenção do artesão que, dentro de sua técnica, o estivesse manipulando. Com a tecnologia, as máquinas criadas têm funções pré-estabelecidas, por exemplo, uma máquina de cortar pedras, terá sempre esta função, independente de quem a esteja operando (DUARTE, 1999, p. 14).

Com a tecnologia, surgem então os **projetistas**, aqueles encarregados de transferir, com os seus conhecimentos e instrumentalização, o movimento dos artesãos para uma máquina.

Entretanto observa-se que a tecnologia se insere também no processo projetual e não apenas construtivo, sendo entendida como:

[...] um modo ou método de projeção, que faz dos dois momentos, da idealização e da realização, não mais uma relação estática de causa e efeito, mas um processo interativo, do influenciar-se recíproco até se chegar a uma nova concepção do próprio espaço. Tecnologia entendida como uma tentativa de se substituir os modelos estáticos e definidos por processos abertos e dinâmicos, individualizando, mais que o tipo funcional da forma arquitetônica, os parâmetros estruturais de transformação e construção do ambiente (VIANNA, 1989, p.55).

2.2 TECNOLOGIA E PROCESSO DE PROJETO

Inicialmente é importante fazer uma distinção entre os termos projeto, projeção e processo de projeto. Serão adotadas neste trabalho as definições de Rego (2000), que coloca a **projeção**, ou o **processo projetual** como o processo de projetar, referindo-se, portanto, à **ação** que, adotando um ou mais caminhos e técnicas, culmina com uma **proposta de solução**, o **projeto**. Ou seja, o projeto é o resultado da ação projetual, isto é, um conjunto de documentos necessários e suficientes para a concretização da solução de um problema.

Durante todo o processo, o projetista utiliza **linguagens** para documentar e representar suas intenções. Segundo Sainz (1990), as linguagens que o arquiteto utiliza são a linguagem natural, a linguagem gráfica e a linguagem arquitetônica. Uma vez que por seu intermédio se expressam os seres humanos, a primeira é a mais habitual das três, e a menos específica da arquitetura; a linguagem gráfica representa a idéia pela sua visualização e também não é exclusiva da arquitetura; e a linguagem arquitetônica é das três a mais específica, e refere-se às suas obras, ao edifício construído em si.

Este trabalho vai focar a representação visual da forma que é um tipo de linguagem gráfica, e que tem no desenho e na construção de modelos seus principais meios de comunicação.

2.2.1 Representação Visual da Forma

Desde o Renascimento, quando surge o projeto desvinculado do fazer, conforme discutido anteriormente, o desenho tem sido o principal veículo de comunicação das idéias de quem as cria, tanto para o cliente como para quem vai executá-las.

Para Laseau, (*apud* NARDELLI, 2000, p. 36-37) “quando se estuda o trabalho dos profissionais do projeto, percebe-se a importância que o desenho tem no desenvolvimento de seu raciocínio criativo. Não é apenas um desenho puro e simples, mas a representação das idéias que vão surgindo da mente de quem o faz”. Nardelli resume ainda, neste mesmo artigo, a classificação de Laseau que define três tipos de representação:

- Representação como olhar – o desenho da paisagem, que visualiza, interpreta e compreende o meio-ambiente no qual o projeto será inserido;
- Representação como pensamento – desenvolvimento das abstrações mentais acerca do produto, através de seus esboços sobre o papel;
- Representação como comunicação – desenhos elaborados com o objetivo de comunicar as informações necessárias para sua elaboração.

Outra classificação vem de Back (*apud* PELIZAN, 2000), para quem os desenhos em projetos de engenharia tem três aplicações: visualização, comunicação e especificação. Considera ainda que, segundo suas aplicações e características os desenhos devem ser classificados como:

- Desenhos de esboço, meio simples e rápido de expressão que tem o propósito de fixar idéias abstratas, dar formas;
- Desenhos de leiaute, que objetiva mostrar os principais aspectos do projeto em desenvolvimento, e que são feitos em escala e com várias vistas;
- Desenhos de aparência, que são usados quando as vistas ortográficas não são suficientes para comunicar todos os dados necessários sobre a aparência, e que tem como seu melhor exemplo as perspectivas;
- Desenhos para modelos, que são aqueles feitos para prover de informações técnicas em nível de detalhes os responsáveis pela construção dos modelos;
- Desenhos de fabricação que, como a própria nomenclatura coloca, são elaborados para fins de fabricação do objeto, e sofrem influência de vários fatores tais como normas técnicas, processo de fabricação, recursos disponíveis para o desenho, etc.;
- Desenhos de montagem, que tem por objetivo orientar os operários na montagem das diversas partes e componentes do objeto.

Borges (2000), a partir de categorizações sugeridas por diversos autores tais como Fraser e Henmi (1994), Porter (1997) e Ferguson (1992) propõe uma classificação para as formas de concepção e representação do projeto. Inicialmente caracteriza as diversas categorias nas quais se baseou, e que são:

- Desenhos de referência: representados por anotações gráficas ou registros sobre objetos, edificações ou paisagens preexistentes e normalmente se apresentam sob a forma de esboços rápidos, à mão livre;
- Diagramas: representações utilizadas como uma forma de exclusão de informações consideradas irrelevantes num dado momento e que permite, quando na fase inicial do projeto, um nível de abstração além do que se verifica nas formas convencionais de representação, como aquelas das projeções ortogonais;

- Desenhos para projeção: usados como forma de estudar a arquitetura, encontrar idéias e desencadear e desenvolver o processo criativo, através de diferentes tipos de linguagem gráfica, do croqui ao desenho instrumentalizado;
- Desenhos para apresentação: aqueles utilizados para apresentação e visualização das soluções de projeto, podendo estar vinculado tanto à fase de anteprojeto (quando podem ocorrer modificações) ou fazer parte da documentação final. Na elaboração destes desenhos são utilizadas as projeções ortográficas e também outros meios de expressão de caráter mais artístico como as perspectivas;
- Desenhos visionários: para alguns pode ser categorizado como desenho para apresentação, mas sua principal característica reside no fato de serem utilizados como forma de expandir a especulação formal e volumétrica do objeto, como uma busca por inovações formais e conceituais, representações de idéias de um mundo virtual que só existia na imaginação do projetista mas que, depois de desenhado e compartilhado com outros, passaria a existir também como representação gráfica.

Em se tratando da linguagem gráfica, observa-se que esta é uma representação visual. Verifica-se, entretanto, que a representação visual, instrumento através do qual a idéia se revela, não é feita apenas pela **representação gráfica**, mas também por **representações físicas**.

a. As **representações gráficas**, como o próprio nome diz, são feitas através de gráficos ou desenhos, que podem ser simples esboços ou desenhos técnicos baseados na geometria projetiva, como as plantas, cortes, elevações e perspectivas; são bidimensionais, pois se desenvolvem numa superfície plana. Aí se incluem também os chamados “modelos geométricos tridimensionais”¹³ ou “maquetes virtuais” gerados por computador, considerando-se neste caso, a visualização da imagem na tela e/ou a sua impressão em papel, ressalvando-se que se nos referirmos ao modelo matemático, enquanto dados, ele é tridimensional.

¹³ Os modelos geométricos tridimensionais ou maquetes virtuais como também são chamados, são modelos feitos em computador e cuja visualização na tela utiliza princípios da perspectiva, permitindo que sejam observadas as três dimensões do objeto modelado e em diferentes ângulos e pontos de vista.

Os esboços são os desenhos feitos à mão livre, sem compromisso com escalas e rigor no traçado, mas mantém geralmente as convenções das representações técnicas projetivas. Tem como objetivo principal o registro da concepção geral do projeto e dos indícios de sua solução de maneira fácil, rápida e flexível (REGO, 2000).

Lawson (1997), em entrevistas realizadas com onze arquitetos de renome internacional dentre os quais Santiago Calatrava, Robert Venturi e Ken Yeang, observa que o ato de desenhar parece particularmente importante para quase todos os entrevistados, sendo para alguns quase impossível pensar sem um lápis na mão. No que pese o fato de que os desenhos que os projetistas fazem enquanto pensam serem frequentemente diagramáticos (esboços), o ato de fazer marcas no papel parece mediar o fluir dos pensamentos e palavras. Isto ocorreu inclusive durante as entrevistas. Lawson chama atenção para o fato de que de maneira geral todos foram muito cuidadosos em ressaltar a diferença entre estes desenhos, que tem apenas a função de comunicar as idéias entre o projetista e ele mesmo – o que ele chama de *'thinking drawings'*, entre ele e os clientes e também com a equipe de projeto, e os desenhos que são obras de arte.

Os desenhos técnicos baseados na geometria projetiva, tanto podem ser projeções cônicas quanto as cilíndricas, ambas já estudadas anteriormente. No caso das projeções cônicas temos a Perspectiva Exata, que surgiu no Renascimento e trouxe significativas mudanças para a arquitetura. Sua objetividade tornou possível, como ressaltava Rego (2000) uma visualização antecipada das concepções formais do projeto, permitindo o desenvolvimento do processo de projetar separado do construir.

Algum tempo depois do surgimento da perspectiva, mais precisamente no século XVIII, surge a Geometria Descritiva¹⁴, criada por Gaspar Monge, e que permitiu a representação precisa de objetos tridimensionais no espaço bidimensional, dando a possibilidade de análise de suas propriedades topológicas, geométricas e dimensionais (REGO, 2000).

¹⁴ Ver capítulo 1: Forma e Geometria.

A partir das regras estabelecidas pela Geometria Descritiva, surge o Desenho Técnico, onde os objetos tem sua representação acrescida de convenções com simbologias específicas que dão diversas informações sobre o objeto representado, tais como natureza (paredes, portas, janelas, pilares, etc), função (sala, quarto, banheiro, etc), material construtivo e de acabamento (pedra, concreto, tijolo, azulejo, etc), e suas dimensões através de cotas.

Os modelos tridimensionais feitos em computador, também chamados de modelos geométricos digitais, são intangíveis, isto é, não podem ser tocados embora possam ser manipulados, são descritos matematicamente e sua visualização é feita com base em regras da geometria projetiva: vistas e perspectivas (cônica e paralela). São representações elaboradas tanto para apresentação final da proposta, como enfatiza Borges (2001), como podem também ser utilizados no estudo das alternativas iniciais do projeto, o que vem sendo feito com mais frequência ultimamente.

b. As **representações físicas** são as maquetes propriamente ditas, ou modelos físicos, tridimensionais, que representam em escala reduzida, o objeto real. Diferentemente dos modelos tridimensionais digitais, os modelos físicos são tangíveis, isto é, podem ser tocados e manipulados. São representações que podem ser elaboradas tanto para estudo das idéias propostas como para apresentação final do projeto. Segundo Borges (2001) na sua execução pode-se recorrer aos mais variados tipos de materiais e equipamentos, desde papéis variados, madeira, isopor, metais, plásticos, etc, e na sua construção, geralmente dependem de um desenho que oriente o corte e a montagem das peças que a compõem.

Os modelos físicos podem ser caracterizados como um tipo específico de protótipo mas, na indústria, estes tem um caráter mais abrangente que vai além da simples visualização do produto. Borges (2001) destaca as diferenças entre modelos utilizados no desenvolvimento de produtos industriais e modelos para arquitetura. Os modelos para arquitetura possuem algumas características distintas, sendo uma das mais importantes a questão da escala. Muitos produtos industriais podem ser

representados em escala real (protótipos), enquanto que modelos para arquitetura, por razões óbvias normalmente não o são, salvo em casos especiais. Outra importante característica relacionada aos modelos de produtos industriais é que muitas vezes eles dão a possibilidade de se testar todas as características de funcionamento do produto, o que é limitado com as maquetes arquitetônicas, a algumas características como aquelas relativas a estudos de ventilação e insolação.

Outra propriedade relacionada aos modelos físicos tridimensionais refere-se ao grau de fidelidade que o modelo pode agregar de características e funções do produto final. Borges (2001) refere-se a dois tipos de modelos, neste caso: aqueles que “agregam a maioria, senão todos os atributos do artefato final”¹⁵, chamados de **completos** (*comprehensive*, na origem inglesa do termo) e que se aproximam do uso que se faz cotidianamente da palavra protótipo; e aqueles que agregam poucos ou até mesmo apenas um dos atributos do produto, chamados de **protótipos focados**, como por exemplo os modelos que são elaborados apenas para exploração formal do objeto.

Quanto à sua utilização no campo da arquitetura, Borges (2001) classifica as funções das maquetes em maquetes de estudo, maquetes de trabalho, maquetes de execução e maquetes de apresentação. As **maquetes de estudo** são modelos rústicos, geralmente usados na etapa inicial do projeto, de concepção, para avaliar os aspectos formais e de composição volumétrica da proposta. As **maquetes de trabalho** são usualmente feitas para representar as propostas de solução ainda em nível de ante-projeto. Para esclarecer processos construtivos ou detalhes complexos são usadas as **maquetes de execução**. Finalmente, as **maquetes de apresentação**, como o próprio nome diz, são bastante elaboradas e detalhadas, sendo utilizadas para apresentação da proposta final, e tem geralmente como objetivo facilitar o entendimento da proposta já que esta nem sempre é possível apenas com a utilização de desenhos bidimensionais que são difíceis de serem lidos e interpretados, por parte de quem não é versado no assunto.

¹⁵ BORGES, M.M. Formas de Representação do Projeto. In: NAVEIRO, R. M.; OLIVEIRA, V.F.(org) O Projeto de engenharia, arquitetura e desenho industrial. Juiz de Fora: Ed.UFJF, 2001. p.92

2.2.2 A representação no processo projetual

Quanto ao papel que estes tipos de representações exercem no processo projetual, elas podem, segundo Borges (2001), ser divididas em dois grandes grupos: aquelas que são **instrumentos de concepção** e criação do objeto arquitetônico, presentes portanto principalmente nas partes inicial e intermediária do processo de projeto, e aquelas que são **instrumentos de tradução** das soluções geradas nas etapas citadas, sendo portanto predominantes na etapa de finalização do projeto.

Enquanto instrumentos de concepção, as representações mais características da parte inicial do projeto são os esboços e diagramas e os modelos tridimensionais em computador (gráficas) e as maquetes de estudo (físicas). Na parte intermediária, são utilizados os desenhos técnicos menos detalhados, os modelos tridimensionais em computador (gráficas) e as maquetes de trabalho (físicas). Já na etapa de finalização do projeto, as representações mais características para sua apresentação final e execução, são aquelas feitas através de desenhos técnicos detalhadamente elaborados e modelos tridimensionais digitais (representações gráficas) e as maquetes de execução e apresentação (representações físicas).

É importante esclarecer que nem todos os projetistas utilizam todas as representações aqui descritas em todas as etapas. O que aqui foi colocado foram as representações mais características de cada etapa, mas que nem sempre são encontradas em sua totalidade em grande parte dos projetos. Por exemplo, existem projetistas que não fazem uso de modelos tridimensionais nem em computador, nem os físicos, em seus estudos de volumetria, mas apenas de esboços em perspectiva. Enfim, as idéias dos projetistas são transpostas e comunicadas de acordo com os meios que cada um acha mais adequados para cada etapa de seu trabalho.

Sendo a arquitetura, como afirma Silva (1983) um fenômeno do mundo concreto e que apresenta uma exteriorização visível, os edifícios, pode-se afirmar que a configuração exterior destes edifícios, ou seja, a sua **forma** exterior, é o aspecto de maior visibilidade, e o que causa a primeira impressão.

Quando estes edifícios têm, dentre outras, a função de marcar presença, ou seja, de atuar como um marco social, econômico ou político, ou até mesmo um monumento, esta **forma** adquire uma importância ainda maior e, não raro, o arquiteto ao projetá-lo, opta por formas não convencionais, por vezes complexas ou inusitadas.

Dentre as diversas abordagens que podem ser feitas na análise da intervenção do ferramental computacional na produção da forma arquitetônica, destacam-se duas: 1 – a que leva em conta o próprio processo de projeto, como a introdução deste ferramental altera este processo, como intervém nas diversas etapas que o compõe, desde a concepção até a fase de construção; 2 – aquela que verifica de que maneira as novas formas podem ser modeladas: partindo ou de sólidos que podem ser compostos utilizando-se diversas operações, ou partindo de curvas como as splines, as curvas Bezier, NURBS, *metaballs*, que possibilitam a modelagem das chamadas “formas orgânicas”.

Com relação à primeira abordagem, pode-se considerar a produção da forma arquitetônica como um processo de resolução de problema. Classicamente, o processo de projeto desenvolve-se em quatro etapas:

1. Levantamento de dados e informações;
2. Estudos Preliminares;
3. Ante-Projeto;
4. Projeto Executivo.

Segundo Rego (2000), na primeira etapa são levantados dados e informações sobre o cliente, o sítio, os materiais e tecnologias construtivas além daquelas vinculadas à legislação. A segunda etapa caracteriza-se pela elaboração de uma ou mais propostas, que leve em conta os dados e informações colhidos. Escolhida uma proposta, esta irá ser trabalhada no sentido de ser validada, configurando-se então a terceira etapa. Chega-se finalmente à quarta etapa, quando é feito o refinamento do projeto, inclusive no que diz respeito à sua representação técnica, necessária à execução da obra.

Após estas etapas, o resultado é um projeto, ou seja, apenas uma proposta ou hipótese para solucionar o problema. O edifício, a obra construída, é que poderá ou não, se configurar numa solução. É importante observar que estas quatro etapas não são estanques, podendo se sobrepor e se retroalimentarem. Assim, concebida uma proposta, esta deverá ser validada. Não sendo considerada válida, volta-se para a etapa de concepção e desta para a elaboração de ante-projeto, até que o projetista considere sua proposta satisfatória para os fins que tem em mente, partindo-se daí para a elaboração do projeto executivo. A fase final para a solução do problema é a da execução da obra. Entretanto, durante a fase de execução da obra, podem ser necessárias mudanças no projeto, o que faz com que se volte para a etapa de ante-projeto, ainda que de apenas uma parte da solução proposta. Esta deverá então ser validada, ser reelaborada a nível de projeto executivo e depois executada, o que nos remete a um ciclo, que somente se encerra com a obra acabada (Figura 2.01).

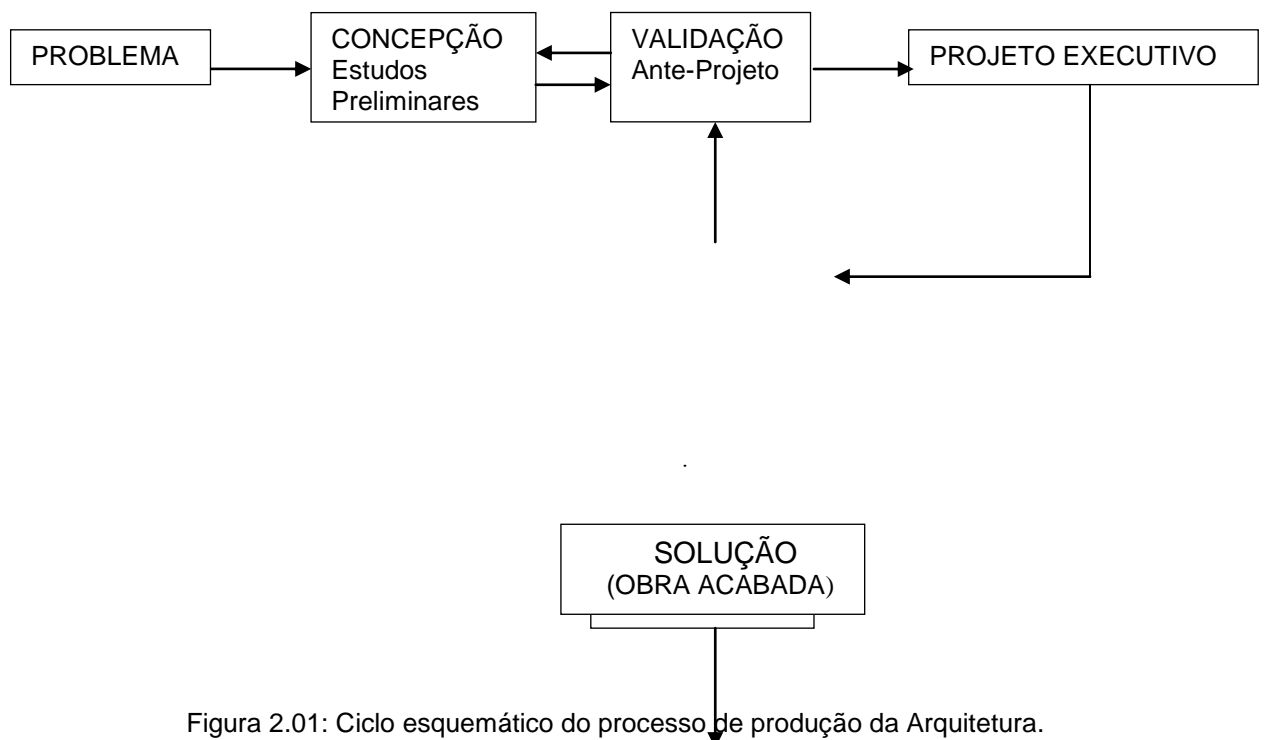


Figura 2.01: Ciclo esquemático do processo de produção da Arquitetura.

Nestas etapas várias atividades são desenvolvidas e são utilizados instrumentos mediadores que, como coloca Rego (2000), auxiliam os processos mentais do projetista e/ou de sua equipe. Dentre estes instrumentos encontra-se a

representação, nos seus vários tipos e elaboradas através de diferentes instrumentos.

Observa-se que nas atividades básicas da projeção - concepção, validação e desenvolvimento do projeto, a representação está presente, e tem papel fundamental. Como instrumento de concepção sua adoção é determinante para as soluções propostas; como instrumento de tradução das soluções adotadas, também a representação utilizada é importante, no sentido de possibilitar uma correta comunicação das idéias a serem traduzidas.

Na etapa dos estudos preliminares, a representação é, algumas vezes, meio de comunicação das idéias entre o projetista e o cliente, mas principalmente é o meio que o projetista faz uso para dialogar com ele mesmo, no sentido de desenvolver e testar suas idéias. Esta etapa exige uma forma natural e intuitiva para os registros das idéias, registro este que necessita ser elaborado de maneira fácil e rápida. Os primeiros esboços, bem como as maquetes rústicas (ou os 'protótipos focados'), são característicos desta etapa.

A figura 2.02 mostra esboços, tipo de representação freqüentemente utilizada no início do processo de projeto.

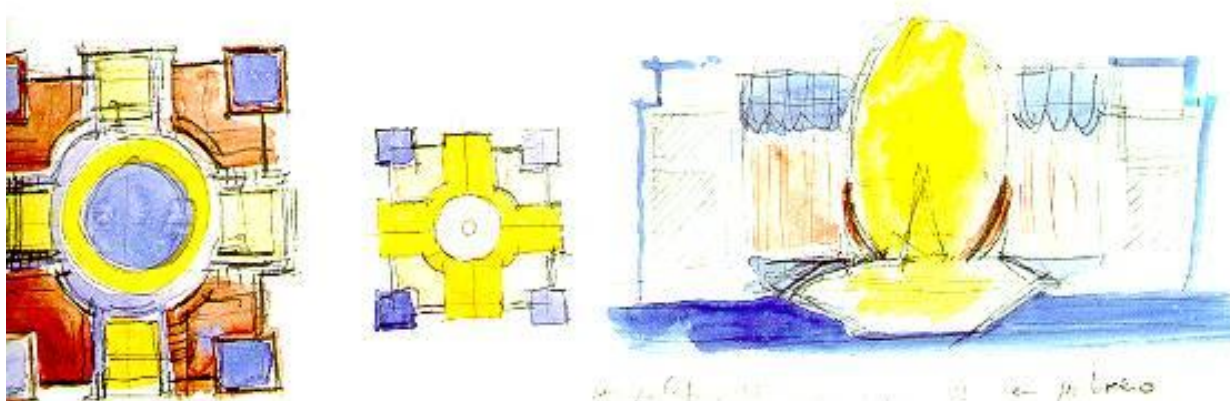


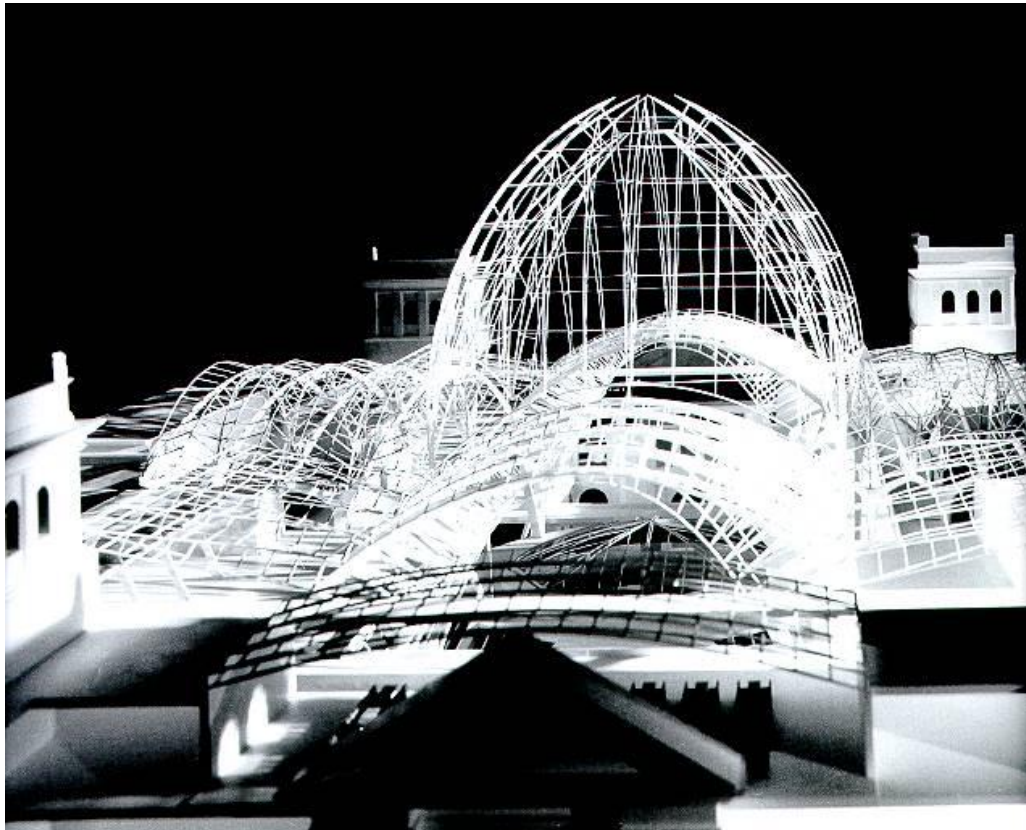
Figura 2.02: Reichstag Conversion: esboços. Arquiteto: Santiago Calatrava.¹⁶

Na etapa do ante-projeto, onde se dá a validação, o projetista faz uso das representações para verificar se a proposta é pertinente, viável, se atende às

¹⁶ Fonte: JODIDIO, Philip. Santiago Calatrava. Köll: Taschen, 2002. p37.

necessidades do cliente, se atende às suas expectativas, e para todas as análises que precedem a execução do “projeto executivo”¹⁷, tais como custos, construtibilidade, conforto térmico, lumínico e acústico, etc. Enfim, nesta etapa, verifica-se a adequação da solução proposta (ou soluções) ao problema. Havendo mais de uma solução possível é feita a escolha daquela que melhor atende ao problema, considerando-se vários aspectos e, como colocado anteriormente, o meio utilizado são as representações gráficas e as maquetes. Como é uma etapa de comunicação com o cliente (além da equipe de projeto), que na maioria das vezes tem pouca intimidade com os códigos e abstrações do desenho técnico, são usados recursos que facilitam a leitura destas representações, como a aplicação de cores e texturas (BORGES, 2001), bem como as maquetes, já mais detalhadas.

Na figura 2.03 pode ser visto um tipo de maquete elaborada para a etapa intermediária do processo de projeção, a validação.



¹⁷Por projeto executivo entenda-se o produto final da projeção, composto de planta(s) baixa(s), cortes, elevações, detalhes e perspectivas, enfim, contendo os elementos necessários e suficientes para a execução da obra. Deverá atender às normas dos órgãos que farão sua análise visando a liberação para construção.

Figura 2.03: Reichstag Conversion: maquete de estudo.¹⁸

Na etapa da confecção do projeto executivo, a representação deve ser a mais detalhada e precisa possível e, sendo usada para comunicação entre o projetista e os executores/construtores da obra, bem como entre estes e os órgãos fiscalizadores. Devem ser utilizadas representações em meios que permitam, portanto, sua distribuição entre todos os envolvidos nesta etapa. Para isto, até então, vem sendo utilizados os desenhos técnicos, normatizados, baseados na geometria projetiva, apresentados na maioria das vezes, em tinta nanquim sobre papel vegetal, translúcido, que permite a tiragem de cópias, em se tratando de técnicas tradicionais e, mais recentemente, em meio digital, que também permite a sua reprodução e visualização pelas diversas equipes envolvidas na execução da obra.

2.2.3 Recursos Tradicionais para Representação

O processo projetual, por sua grande complexidade, “tem nos instrumentos técnicos usados para seu desenvolvimento um fato de relevância fundamental”, segundo Rego (2000, p.42), sendo então importante conhecer as ferramentas mediadoras utilizadas na projeção para entender que influências estas exercem neste processo.

Até algumas décadas atrás, as ferramentas usadas para esta representação eram maquetes, feitas com diversos materiais, principalmente papelão, madeira e/ou isopor, no caso das representações físicas, e os desenhos projetivos, feitos a lápis ou nanquim, utilizando instrumentos como prancheta, régua paralela (ou “T”), esquadros, escalas, compasso e transferidor, etc., no caso das representações gráficas.

As maquetes servem para apresentação, estudo e avaliação das idéias do projetista, mas não são suficientes como documentação para a execução do projeto. Já o desenho projetivo tem diversas limitações quando as formas a serem representadas fogem das superfícies derivadas dos sólidos primitivos (prismas, pirâmides, cilindros

¹⁸ Fonte: JODIDIO, Philip. op.cit. p.120

e cones), que neste trabalho, serão chamadas de formas convencionais. As formas arquitetônicas geradas a partir de superfícies complexas, e que serão denominadas de formas não convencionais, como as de dupla curvatura (parabolóides hiperbólicos, conóides), as derivadas de movimentos helicoidais, e até mesmo aquelas que hoje estão sendo chamadas de orgânicas (semelhantes a elementos do reino animal ou vegetal), tinham suas possibilidades de representação bastante limitada e, portanto, eram muito pouco utilizadas.

Rego (2000) chama atenção para o fato de que a representação feita através das ferramentas tradicionais tem como uma de suas maiores limitações o fato de ser esta uma representação fragmentada e estática do objeto o que dificulta a sua visão e a percepção do espaço. A adoção predominante de formas prismáticas e de ângulos correspondentes aos dos esquadros demonstra que estes instrumentos têm influência na proposta de solução para o edifício que está sendo produzido. É importante ressaltar, entretanto, que a forma do edifício não será apenas resultante desta influência, mas de diversos fatores, tais como as necessidades do cliente, custos, processo construtivo, características do sítio, clima, topografia, além de questões de ordem sociais e daquelas vinculadas ao modo do projetista de fazer e pensar a arquitetura.

Obras de arquitetura com formas complexas que foram projetadas com as ferramentas tradicionais tiveram por parte de historiadores e seus próprios projetistas relatos de diversas dificuldades no seu processo projetual e de construção. As obras de Gaudí e a Ópera House de Sydney são exemplos de construções com formas complexas que utilizaram as ferramentas tradicionais de representação durante o processo de projeto.

O conhecido arquiteto espanhol Antoni Gaudí e Cornet nasceu em 25 de junho de 1852 em Reus, província de Tarragona, tendo se formado arquiteto pela Escola Técnica Superior de Arquitetura de Barcelona em 1878. As principais características formais de suas obras são o uso de superfícies curvas, de geometria complexa

como os parabolóides hiperbólicos, o uso intensivo da catenária¹⁹, o detalhismo decorativo e rebuscado. Inicialmente inspirou-se na arquitetura árabe, gótica e barroca, das quais extrai toda sua essência. Na arquitetura árabe se inspira para fazer a composição volumétrica de seus edifícios e da gótica extrai os princípios estruturais das catedrais, castelos e mosteiros existentes na Catalunha. A seguir inspira-se na natureza, procurando formas orgânicas e para erguer suas obras busca usar sistemas construtivos vernaculares. Gaudí inicia seus projetos a partir de esboços, muitos dos quais pintados em guache (Figura 2.04) e para a análise estrutural, desenvolveu um sistema conhecido como funicular (Figura 2.05),

[...] que consiste em uma maquete composta por cordas, os 'funículos', palavra que em sua origem significa cordão umbilical. Este é um método empírico empregado para determinar a forma espacial de uma estrutura sem aplicar fórmulas matemáticas. Para definir a forma de cada arco, Gaudí utiliza a curva resultante de uma corrente suspensa por seus extremos e da qual pendem cargas equivalentes às que terá que suportar o arco uma vez construído. A colocação de um espelho sobre a maquete funicular permite ver a estrutura do edifício (ORCIUOLLI, 2002, p. 61).

O projeto e a construção do Templo da Sagrada Família (1883-1926) é considerado por Orciuoli (2002) o ponto culminante de seu universo, sendo a síntese de seu conhecimento e experiência construtiva. Segundo este autor, é na Sagrada Família onde se pode ver com mais destaque o método de trabalho de Gaudí. Seu ateliê, situado debaixo do próprio templo, mais se parecia um ateliê de escultor, "onde se amontoavam modelos em gesso, maquete, moldes, etc. Gaudí projetava seus edifícios mediante maquetes em constante evolução e chegava a utilizar modelos vivos para as esculturas. Tanto os moldes como as maquetes eram fotografados e o arquiteto logo as pintava, desenhava e corrigia" (ORCIUOLLI, 2002, p. 62). Gaudí morreu em 1926, antes de ver concluída a sua obra, pois apenas havia realizado a Fachada do Nascimento e uma das torres. Durante a Guerra Civil Espanhola grande

¹⁹ "Entre todos os arcos a catenária é a mais mecânica, uma vez que a linha de pressão segue exatamente a forma do arco. Se tomamos uma corda qualquer, e seguramos ambos extremos, a resultante será sempre uma catenária: um arco espontâneo, elegante e extremamente correto".In: ORCIUOLLI (2002, p. 61).

parte dos desenhos e documentos da obra e das maquetes foram queimados e destruídos, o que dificultou sobremaneira sua continuação (ORCIUOLI, 2002).



Figura 2.04: Igreja da Colônia Güell: pintura feita por Gaudí.²⁰



Figura 2.05: Igreja da Colônia Güell: maquete funicular.²¹

²⁰ Fonte: Revista AU, N° 104, out/nov 2002, p62.

²¹ Fonte: Revista AU, N° 104, out/nov 2002, p 62.

Observa-se no seu método de trabalho uma procura em solucionar o problema de trabalhar com superfícies curvas, difíceis de serem representadas pelos métodos convencionais de desenho técnico. Este, baseado na Geometria Projetiva, só permite que sejam representadas em verdadeira grandeza, ou seja, guardando suas propriedades topológicas e dimensionais, as faces do objeto que estejam paralelas aos planos de projeção. Isto se torna extremamente difícil quando se trata de superfícies curvas, onde esta relação de paralelismo é inexistente, pois superfícies curvas não podem ser paralelas a superfícies planas. Assim, ele trabalha com as maquetes, as fotografias e os desenhos em perspectiva. Segundo Orciuoli (2002), a continuação dos trabalhos de construção do Templo da Sagrada Família vem sendo desenvolvida com as técnicas mais avançadas de CAD/CAM, que facilitam a representação de formas complexas, como será visto mais adiante.

A Opera House em Sydney, Austrália (Figuras 2.06 e 2.07) teve seu projeto iniciado em 1957. Seu projetista, o arquiteto dinamarquês, Jorn Utzon, concebeu a Ópera de Sydney como um produto da sua crença de que os prédios eram entidades orgânicas. Essa abordagem desenvolvida com os recursos do ferramental tradicional de projeto levou a diversos problemas, inclusive estruturais. No projeto, o edifício tinha uma cobertura em forma de concha que também remetia à visão de silhuetas de velas de embarcações mostradas contra o céu, evocando o local onde a obra iria ser construída, a baía de Sydney. Para o arquiteto, o teto do edifício deveria ser visto como uma quinta fachada, tão importante quanto as fachadas laterais. Esta estrutura em concha acabou se tornando o maior problema durante a construção. Ao tempo em que Utzon se dedicava à resolução deste problema, as pressões pela simplificação da estrutura, visando o término mais rápido da obra, e com menor custo, tornaram-se muito fortes. Em 1966 Utzon se demitiu, deixando o projeto nas mãos dos australianos Peter Hall, David Littlemore e Lionel Todd. Estes, promoveram diversas modificações no projeto original, sempre no sentido de simplificá-lo, a ponto de não ser possível abrigar a função inicial, fazendo com que a Ópera House de Sydney se transformasse no Sydney Concert Hall. Mesmo assim, sua cobertura original colocou Sydney no “mapa da arquitetura”. Por conta de todas as dificuldades, de cálculo estrutural e execução principalmente, o edifício levou

dezesseis anos entre projeto e construção, e custou sete vezes a estimativa original.²²



Figura 2.06 - Sydney Opera House - Austrália. ²³



Figura 2.07: Sydney Opera House – Austrália. Cobertura que lembra velas de embarcações.²⁴

²² In: Architectural Competitions: 1950-Today: Opera House, Sydney. Germany, Benedikt Taschen, 1994. p24-29

²³ Fonte: disponível em: <<http://www.sydneyoperahouse.com>>. Acesso em 15 mar. 2004.

²⁴ Fonte: disponível em: <<http://www.sydneyoperahouse.com>>. Acesso em 15 mar. 2004.

2.2.4 Recursos Computacionais de Representação

Preliminarmente é importante que sejam feitos alguns esclarecimentos com relação ao uso das expressões “ferramentas CAD”, “tecnologias CAD” e “sistemas CAD”, que são comumente encontradas associadas ao projeto, e que tem sido empregadas das mais diversas formas e com significados ambíguos (AMORIM, 1997). Diante disto, no âmbito desta tese, serão adotadas as definições de Rego (2000), e que são as seguintes:

- ferramentas CAD: assim serão classificados genericamente os programas utilizados no desenvolvimento e representação de projetos;
- tecnologias CAD: corresponde genericamente ao conjunto de programas, dispositivos físicos, métodos e procedimentos aplicados ao desenvolvimento e representação de projetos;
- sistema CAD: denominação dada a uma configuração de programas, equipamentos que os suportam, métodos e procedimentos empregados pelo usuário (incluindo o mesmo), integrados como um ambiente de produção de projetos

As ferramentas CAD podem ser divididas, quanto à sua abrangência, em dois grandes grupos: o dos **CAD genéricos** e o dos **CAD dedicados**. Segundo Rego (2000), são chamados de CAD genéricos aqueles aplicáveis a qualquer área de atuação, seja arquitetura, engenharia, desenho industrial ou outras correlatas, constituindo-se principalmente em editores de desenho (2D) e modeladores tridimensionais (3D). Os CAD dedicados são ferramentas com aplicações dirigidas a determinada atividade respondendo a necessidades específicas de projeto ou de representação de áreas de conhecimento específicas. Estão aí incluídos além dos editores de desenho e modeladores tridimensionais específicos, os programas para dimensionamento e para simulação, bem como os programas dedicados aos projetos complementares²⁵. Os programas para gerenciamento de projetos, Banco de Dados específicos, programas para geração de animação bem como aqueles

²⁵ Projetos complementares são aqueles que, como o próprio nome diz, complementam o projeto arquitetônico, visando abranger todas as necessidades do edifício a ser construído, tais como projeto estrutural e os projetos de instalações elétricas, hidráulicas e sanitárias.

dedicados à Realidade Virtual, a rigor não constituem ferramentas CAD, mas adequadamente utilizados podem integrar um sistema CAD, podendo ser genéricos ou dedicados.²⁶

Após a década de sessenta com a introdução da Computação Gráfica e do CAD, cuja utilização pelos projetistas no Brasil intensificou-se no início da década de noventa, surge a opção do instrumental composto pelo computador, seus periféricos (impressoras, *scanner*, *plotter*, etc) e os diversos programas para concepção e representação da Forma.

Os programas CAD para desenho, os editores de desenho, se baseiam nos mesmos princípios dos sistemas projetivos do desenho tradicional. Borges (2001) coloca que, quando trabalhamos com representações computacionais “estamos manipulando a todo momento dois níveis de informação: um de natureza visual”, que corresponde à própria representação gráfica vista na tela do computador, e outro nível de informação, “que se traduz em registros alfanuméricos, isto é, a base de dados que representa a estrutura matemática da representação gráfica” e que não é vista pelo usuário comum. Ou seja, um nível representa a imagem propriamente dita, e outro, as informações numéricas que permitem a formação desta imagem na tela do computador (Figura 2.08).

²⁶ Os programas de simulação são aqueles destinados a avaliação dos efeitos de insolação, ventilação, desempenho energético, projetos de iluminação artificial, avaliações de comportamento estrutural da edificação, etc. Os programas para geração de animação permitem dar movimento a objetos modelados imprimindo movimento ao próprio modelo ou parte dele, ou simulando um caminho percorrido por um observador, dentro ou em torno do modelo. Já a Realidade Virtual é um recurso que permite além da visualização tridimensional e da animação, que seja simulada uma interação entre o observador e o espaço modelado, através da imersão do primeiro no ambiente criado (REGO, 2000).

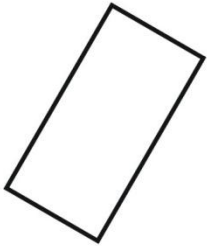
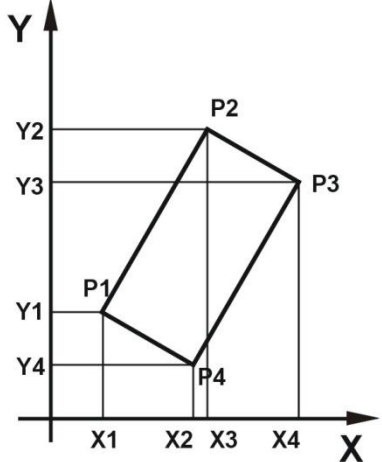
IMAGEM	COORDENADAS	REPRESENTAÇÃO ALFANUMÉRICA
		<p>P1 (X1, Y1)</p> <p>P2 (X2, Y2)</p> <p>P3 (X3, Y3)</p> <p>P4 (X4, Y4)</p>

Figura 2.08: Quadro ilustrativo dos níveis de representação – gráfica e alfanumérica.²⁷

Esta maneira de trabalhar os dados traz, segundo Borges (2001, p. 97), inúmeras vantagens para o projetista, como por exemplo, “possibilidades de edição de desenhos, reaproveitamento de formas geométricas ou desenhos inteiros em um novo projeto, desenho vetorial de precisão e a manipulação de formas geométricas complexas com relativa facilidade, entre outros aspectos”. Outra vantagem é o fato de que esta representação computacional dá a possibilidade de serem associadas diferentes tipos de informações a cada entidade geométrica (ponto, retal, plano, polígonos, etc), como por exemplo, a representação em planta baixa de uma parede pode estar associada a planilhas de custos.

As ferramentas CAD, enquanto **instrumentos de tradução**, tem sido cada vez mais utilizadas pelos projetistas, pois possibilitam que os desenhos sejam elaborados de maneira mais rápida, com maior riqueza de detalhes, precisão, disponibilizando com relativa facilidade elementos técnicos para análise, simulação, construção, etc., tanto no caso das formas convencionais como daquelas de geometria complexa. Segundo

²⁷ Redesenho a partir de tabela existente em BORGES, M.M. Formas de Representação do Projeto. In: NAVEIRO, R. M.; OLIVEIRA, V.F.(org) *O Projeto de engenharia, arquitetura e desenho industrial*. Juiz de Fora: Ed.UFJF, 2001. p.96.

Duarte (2003), a adoção das ferramentas computacionais no projeto se deu por conta de ser um ferramental que se apóia muito pouco nas habilidades manuais do usuário ampliando, portanto, as possibilidades de representação. Kowaltowski (1992) observa que o desenvolvimento das ferramentas CAD foi realizado a partir das necessidades do desenho técnico, ou seja, como instrumento de tradução, e sua rápida adoção pelos projetistas se deveu a diversos fatores dentre os quais pode ser destacado o desenvolvimento de sistemas de modelagem em duas e três dimensões, paralelamente à melhoria das interfaces com usuários.

Estas ferramentas, contudo, também podem ser utilizadas como instrumento auxiliar para a fase de **concepção** do projeto, o que vem acontecendo, embora em menor escala, em relação ao seu uso enquanto instrumento de tradução. Não substituem o projetista no processo criador, mas são uma importante ferramenta de auxílio, principalmente através dos recursos de modelagem sólida e simulação ao possibilitar ensaios e projeções, cálculos, etc., permitindo também a geração de várias alternativas de projeto, com complexidades e novos recursos para sua análise. A representação através da modelagem do objeto cria possibilidades de compreensão e manipulação do objeto ainda que este seja apenas a prefiguração de algo não existente (DUARTE, 2003).

Nesse sentido, a modelagem sólida torna-se, segundo Pratini (1992, p.60), “[...] uma nova dimensão de projeto, introduzindo uma forma de concepção menos associada ao desenho, às plantas, vistas, cortes, etc., e mais ligada à visualização do próprio objeto, à percepção da tridimensionalidade, como em uma escultura”. O CAD pode ser usado na síntese da forma, através da avaliação de diversas alternativas geométricas e facilitando o seu desenvolvimento através da visualização, simulação, análise, etc, o que o transforma de ferramenta de desenho em um “assistente inteligente” durante o processo projetual (KOWALTOWSKI, 1992).

A facilidade em realizar simulações em um modelo computacional também viabiliza a projeção de formas complexas, que podem ter todos seus aspectos (estruturais, de conforto, custo, construtibilidade, etc.) verificados durante o processo de projeto.

Observa-se então que, com a introdução das ferramentas CAD como instrumental para o projeto, pode ocorrer uma mudança já na maneira deste ser concebido. Considerando-se o desenho enquanto **instrumento de concepção**, as mudanças podem ser percebidas. Em estudo que realizado em 1990, procurando identificar como a questão da **forma** era vista no Currículo do Curso de Arquitetura da Faculdade de Arquitetura da UFBA., verificou-se, através da aplicação de questionários e da observação nas aulas de projeto, que os alunos nos seus exercícios, trabalhavam os elementos isoladamente, primeiro em planta baixa, fazendo em seguida os cortes e um estudo das fachadas e por último pensava-se na cobertura. O volume seria então, unicamente o resultado da composição destes elementos, que foram trabalhados isoladamente. Observou-se ainda que, a forma era definida, na maioria das vezes, na planta baixa, e sendo assim, o instrumental de representação tinha alto grau de importância no processo de criação. “Se o projetista tem limitações quanto aos recursos de que dispõe para representar suas idéias, sua atividade criadora estará conseqüentemente restrita nestes limites” (CARDOSO, 1992, p.130). Com o uso do instrumental computacional, observa-se que o projetista não precisa necessariamente iniciar a concepção formal a partir de esboços bidimensionais, em planta baixa, pois mesmo que ele não tenha habilidades de desenho à mão livre suficientes para desenvolver sua concepção tridimensionalmente, ao utilizar um programa de modelagem 3D ele estará capacitado a fazê-lo.

Por outro lado, ao iniciar o projeto utilizando a modelagem tridimensional como **instrumento de concepção**, através dos recursos das ferramentas CAD a geração dos desenhos de tradução se torna facilitada, ou mesmo dispensada, o que faz com que, o uso dessas ferramentas enquanto instrumental de representação gráfica dispense a figura do “desenhista copista” ou seja, daquele profissional especializado em desenhar o projeto para apresentação final, com detalhes, seja em nanquim, ou utilizando o computador.

Quanto à representação das formas não convencionais, esta sempre foi difícil, complicada, sendo um fator limitador na sua criação. Com as tecnologias CAD, esta

dificuldade começou a ser solucionada. Lawson (1999, p. 43) coloca que, no início dos anos 80, o Gable CAD – um programa de computador desenvolvido na Universidade de Sheffield, foi amplamente utilizado no Reino Unido e também em outros países e a sua avaliação técnica foi bastante positiva. “A visualização permitiu aos arquitetos explorar formas tridimensionais complexas e desenvolvê-las de uma maneira que eles não podiam fazer facilmente pelo método manual”.

Com relação às tecnologias computacionais, além do computador no auxílio ao projeto (CAD), recentemente, com maior ênfase ainda na indústria mecânica e de *design*, tem-se a introdução da Manufatura Auxiliada por Computador (CAM), que já vem sendo também testada e utilizada na produção de elementos arquitetônicos, como será visto mais adiante. Pode-se representar o projeto em 3D e obter diretamente qualquer vista desejada, e utilizar estes modelos para gerar um conjunto de informações para alimentar as máquinas-ferramenta CNC (*Computer Numerical Control*) e/ou ainda obter, através da prototipagem rápida, um modelo físico (PELIZAN, 2000). A tecnologia CAD/CAM, abriu novos caminhos para a concepção, viabilização e construção/fabricação de formas complexas, passando a ter um impacto significativo nos projetos de edifícios e nas práticas construtivas (KOLAREVIC, 2001).

2.3 TÉCNICAS COMPUTACIONAIS DE MODELAGEM E A ARQUITETURA

Um modelo é uma representação de uma realidade, seja um objeto, um sistema ou um processo, através de uma abstração. Levando-se em consideração como os modelos são construídos, estes podem ser físicos ou conceituais.

Os modelos físicos tem características iguais ou análogas à do objeto real. Neste caso podem ser icônicos, ou analógicos. Um modelo icônico é uma representação em escala, através de um protótipo que se assemelha ao objeto real que está sendo representado. Como exemplo pode ser citado um brinquedo infantil muito comum, a réplica em plástico de um carro, em escala reduzida. O modelo analógico substituiu uma propriedade do objeto por outra na sua representação, através de regras de

transformações. Gráficos e tabelas são classificados como modelos analógicos, assim como o conjunto de desenhos de um projeto arquitetônico.

Os modelos conceituais, por sua vez, podem ser classificados em verbais ou matemáticos. O discurso através da palavra, falada ou escrita, é um modelo verbal. Já os modelos matemáticos também podem ser subdivididos em analíticos, numéricos ou estocásticos. As equações, fórmulas, matrizes, são modelos matemáticos analíticos. Os modelos numéricos são aqueles implementados em computador. E os estocásticos são aqueles baseados em probabilidades (ECHENIQUE, *apud* SERRA, 1995).

Os modelos tridimensionais elaborados através das ferramentas computacionais, enquanto estruturas de dados armazenados na memória do computador são segundo a classificação anterior, modelos conceituais, matemáticos, numéricos. Se impressos ou visualizados em tela, tornam-se físicos, analógicos. Caso materializados através de máquinas operatrizes de controle numérico ou através de “impressora tridimensional”, passam a ser icônicos.

Segundo Amorim (1999), os sistemas de modelagem evoluíram a partir dos sistemas de desenho auxiliados por computador. Os sistemas tradicionais de representação tem várias limitações, como por exemplo a representação fragmentada em vistas ortogonais, que dificultam a compreensão do projeto por parte de leigos, além de demandarem muito tempo para sua execução. Estes sistemas, que são bidimensionais, representam a forma dos objetos e o espaço no qual eles se desenvolvem pela sua **descrição**, e assim, todos os seus problemas tridimensionais passam a ser problemas de **representação**, que só podem ser resolvidos através das **imagens**. Os sistemas de modelagem tridimensional, por outro lado, definem os objetos a partir das propriedades da sua forma nas três dimensões, logo, seus problemas tridimensionais são de **formalização** e não de representação, e são resolvidos a partir da própria geometria dos objetos, por meio da construção do modelo dentro do espaço. O modelamento tridimensional faz uma representação mais próxima do objeto real, propiciando uma representação onde a terceira dimensão é visualizada, o que facilita o trabalho com o objeto e o

entendimento mais imediato do mesmo por parte de clientes e executores. Na modelagem, o usuário constrói o próprio objeto, e não suas vistas, que são projeções no plano, e a partir deste modelo, podem ser obtidas as representações necessárias, tais como plantas, elevações e perspectivas. São modelos “virtuais” de objetos, que podem ser visualizados de diversas maneiras e, em alguns casos, quando necessário, submetidos a diversas simulações e análises como de esforços mecânicos, condutividade térmica, cálculo de massa e volume, etc.

O modelamento ou a modelagem é o processo de criação de modelos. No caso da modelagem tridimensional de objetos por computador, este processo pode se dar de duas maneiras: modelagem geométrica e modelagem procedural. A primeira se baseia em regras da Geometria Clássica e são utilizados recursos da Topologia. Já a modelagem procedural é utilizada na obtenção de modelos de formas variáveis, de geometria complexa, não convencionais, em especial formas orgânicas, da natureza, sendo raramente empregada na projeção arquitetônica.

Os modeladores tridimensionais são *software* elaborados visando a criação de modelos tridimensionais. Os modelos geométricos podem ser enquadrados, ainda segundo Amorim (1999), em três categorias:

- Modelos de arestas ou *wireframe*
- Modelos de superfície
- Modelos de sólidos

Nos modelos de aresta o objeto é representado pelas linhas extremas e vértices (*endpoints*) determinados sobre suas superfícies. Na modelagem por superfícies são proporcionadas informações matemáticas sobre as formas da superfície do objeto. A modelagem sólida é a mais recente das três, e apresenta mais informações sobre o objeto, incluindo aquelas referentes ao fechamento e conectividade das formas, sendo representados a superfície e seu interior.

A seguir serão apresentadas cada uma destas categorias separadamente.

2.3.1 – Modelos de arestas (*wireframe*)

A modelagem de aresta, segundo Rodriguez (1992), foi a primeira técnica de modelagem 3D a ser implementada e, como já foi dito, deriva dos primeiros sistemas de desenho auxiliado por computador. Este modelos representam os objetos por suas linhas limites, retas ou curvas, e pontos sobre sua superfície. Pode ser imaginada como uma descrição do “esqueleto” do objeto. É uma descrição geométrica precisa, rápida, e por sua simplicidade, para obtê-la não são necessárias ferramentas CAD muito sofisticadas.

Na sua construção, cada uma das arestas e nós (locais onde as entidades geométricas são conectadas umas às outras) precisa ser especificada, o que torna o processo tedioso, embora fácil. Outro inconveniente é que sua visualização é uma representação ambígua, já que o usuário não pode determinar quais linhas estão na frente e quais estão atrás (Figura 2.09). Para que esta ambigüidade seja eliminada é preciso que sejam removidas as arestas da parte traseira do objeto, por exemplo. Da mesma forma, como o modelo não contém informações acerca do espaço existente entre os lados, isto pode dificultar, por exemplo, a determinação da existência ou não de interferência entre dois ou mais sólidos, assim como é bastante trabalhoso realizar certas operações como a determinação de massa, volume, inclusão de pontos, etc. Além disto, também é possível a criação de um modelo de um objeto que não pode ser viabilizado fisicamente, um objeto “sem sentido” (RODRIGUEZ, 1992).

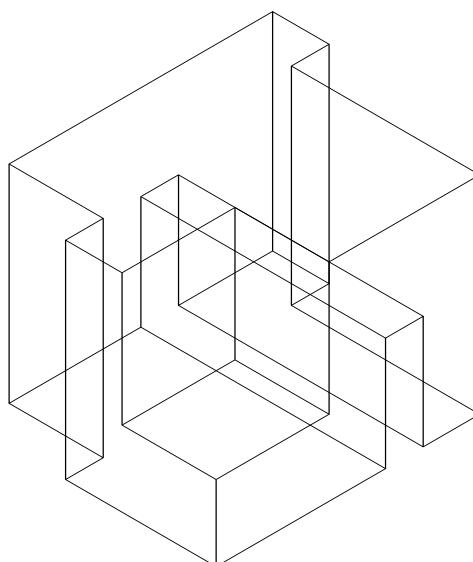


Figura 2.09: Objeto modelado em *wireframe*, onde todas as arestas são visíveis.

2.3.2 – Modelos de superfície

Os modelos de superfície foram desenvolvidos, segundo Rodriguez (1992), a partir do início dos anos 60, e se constituem numa descrição visual e matemática da superfície dos objetos. Estes modelos são limitados a partir de porções e fragmentos ou retalhos (*patches*, em inglês) que, juntos, formam uma espécie de “casca” que envolve o objeto. As malhas poligonais são usadas por alguns modeladores de superfície, em especial para representar superfícies complexas. Tem como vantagem o fato de serem fáceis de construir a partir da criação de superfícies planas ou de operações de revolução ou extrusão de entidades tais como poligonais ou curvas, gerando arquivos de dados pequenos, o que facilita o armazenamento e a velocidade de processamento. Também são úteis para se encontrar a interseção de superfícies no espaço. Entretanto não representam as propriedades do interior do objeto, não tendo, portanto, recursos necessários para analisar sua estrutura interna (Figuras 2.10 e 2.11).

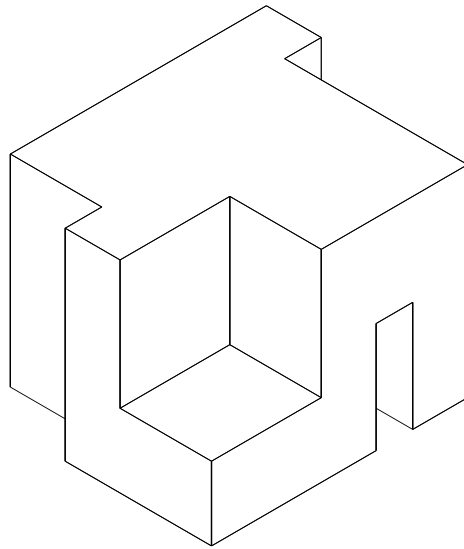


Figura 2.10: Poliedro modelado por superfícies, com o recurso “*hidden*” (linhas escondidas) aplicado às arestas não visíveis.

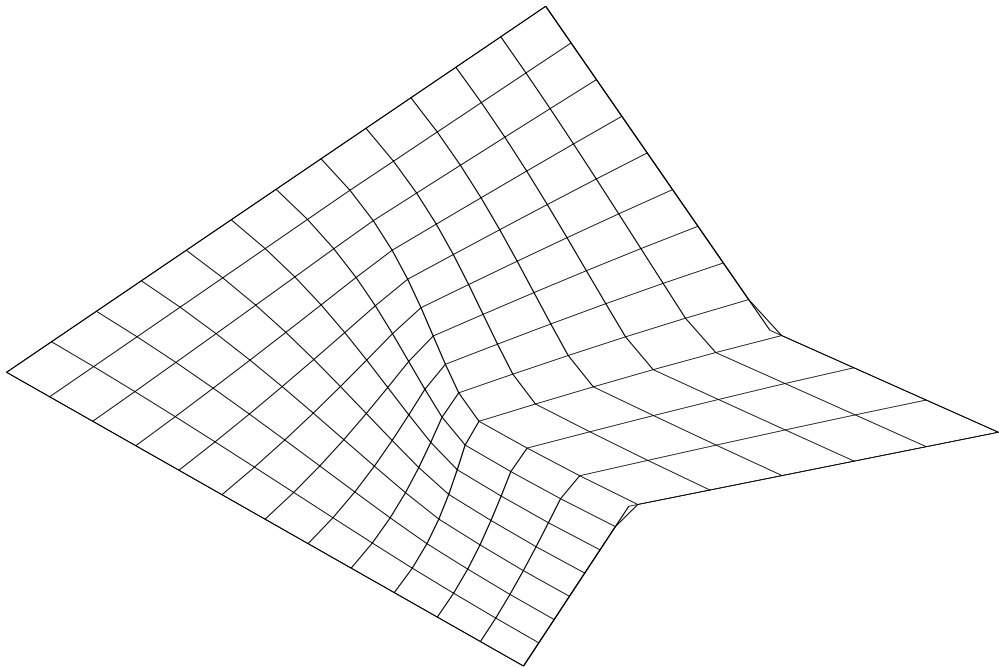


Figura 2.11: Superfície formada por malha poligonal

Este modelamento é particularmente importante no que tange à formas complexas, pois vem sendo desenvolvidas técnicas que modelam estas superfícies através da utilização de curvas *spline* (incluindo as *B-Splines*), e as NURBS.

A *spline* é uma curva representada por equações, sendo precisa e compacta no seu armazenamento. Possui uma função bem definida que permite o cálculo (exato) de pontos intermediários e de propriedades da curva como inclinação (tangente) e curvatura. Para construir uma *spline*, escolhe-se um ponto inicial [P1] e depois um ponto final [P2] que define uma reta. Em seguida, são escolhidos pontos fora da reta, e são definidos os pesos, também chamados de pontos de controle, que transformam a reta em uma curva. A expressão matemática que descreve esta curvatura impõe condições onde alterações de posição em qualquer um dos pontos de controle provocam mudanças apenas nos pontos vizinhos mais próximos. A *B-spline* é uma “versão” da *spline* com controle local, isso é, as alterações nos pontos de controle da *B-spline* apenas se propagam para os vizinhos mais próximos. A função *B-spline* não passa pelos pontos de controle. Outra característica básica é que ela pode ser gerada para qualquer número de pontos de controle. Neste tipo de curva os pontos de controle são denominados nós. Já as NURBS – *Non-Uniform Rational B-splines* ou *B-splines Racionais e Não Uniformes*, são conjuntos de *splines* na forma de malha que funcionam de forma muito parecida com as *B-splines*, cada nó pode ter seu próprio peso, e estes agirão em três dimensões.

Por estas características as *splines* permitem a definição de superfícies complexas com poucos pontos, de maneira mais fácil que a malha poligonal, e com a vantagem da superfície possuir o aspecto suave tornando-as, portanto, mais vantajosas para modelar formas reversas com curvaturas variáveis e “orgânicas”. Como exemplo, pode ser citados dois trabalhos de investigação sobre o modelamento e a análise das formas geométricas complexas, o primeiro feito por Mesa, Quillez & Regot (2000), de um edifício projetado por Frank Gehry para a *National Nederlanden*, em Praga, e o segundo feito por Regot, Mesa & Garcia (2001) onde o objeto da análise foi a cobertura da Capela de Ronchamp, de Le Corbusier, na França.

No primeiro caso, os autores afirmam que a utilização das *splines* e *B-splines* foi decisiva para que se pudesse reproduzir o modelo deste projeto com a maior fidelidade possível. A aplicação deste sistema de curvas *splines* e *B-splines* foi muito importante pois, a partir de um número reduzido de pontos foi possível a realização do traçado de curvas vetoriais contínuas sobre a imagem digital das plantas e

elevações sem que houvesse descontinuidades ou quebras de direção que poderiam vir a comprometer a uniformidade das superfícies básicas definidoras do edifício (Figuras 2.12 e 2.13) .

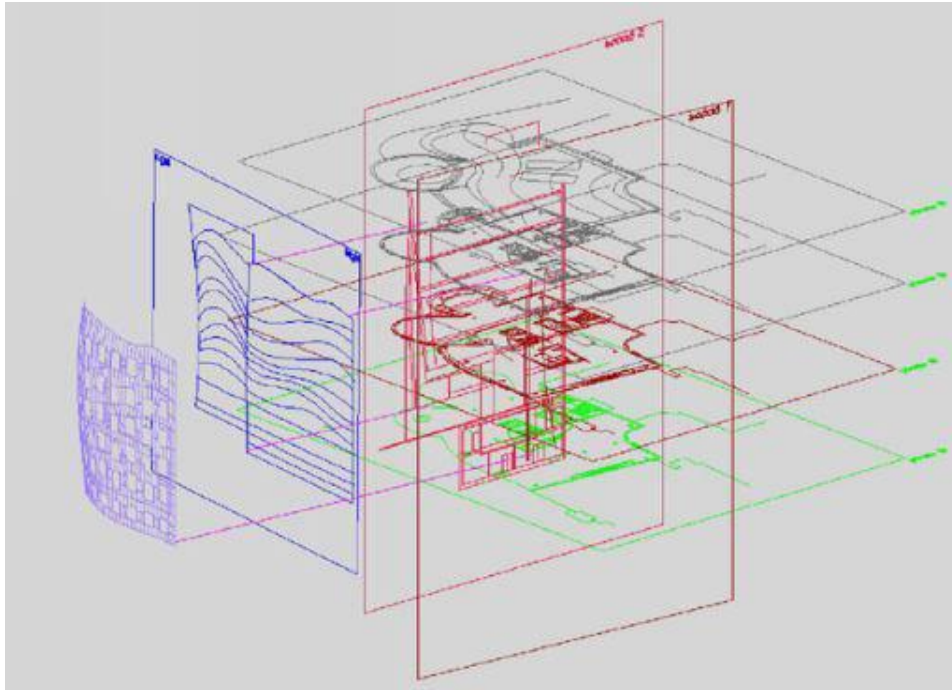


Figura 2.12: Edifício da National Nederlanden: modelagem utilizando as *splines* e as *B-splines*.²⁸

²⁸ Fonte: MESA, A.; QUILLEZ, J.; REGOT, J. Análisis Geométrico de Formas Arquitectónicas Complejas. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, IV, 2000, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: PROURB / Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000. CD.



Figura 2.13: Fotomontagem composta pela imagem fotográfica do edifício (esquerda), o modelo da superfície com acabamento (centro) e sua forma geométrica desenvolvida em *wireframe* (direita).²⁹

No segundo caso, foram realizados o modelamento e a análise da cobertura da capela de Notre-Dame-du-Haut, em Ronchamp - França, projeto do arquiteto Le Corbusier, cuja construção foi finalizada em 1955. Na simulação realizada a partir da obra já construída, para a determinação dos elementos definidores da sua volumetria foram usadas NURBS, que se mostraram mais adequadas que as malhas poligonais, por contarem com uma formulação matemática que as torna mais versáteis e dispõem de sistemas que possibilitam a análise rápida dos diferentes aspectos das formas obtidas (Figuras 2.14 e 2.15).

²⁹ Fonte: MESA, A de; QUILLEZ, J.; REGOT, J. op.cit.

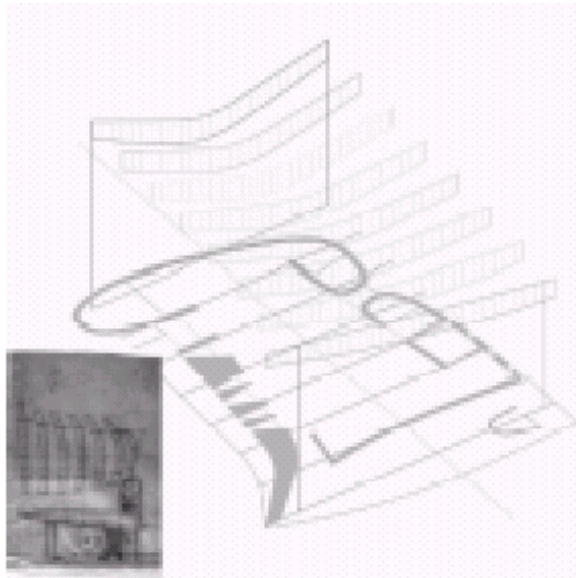


Figura 2.14: Capela de Ronchamp: estrutura da cobertura. Dados gráficos e resolução espacial com a utilização de NURBS.³⁰

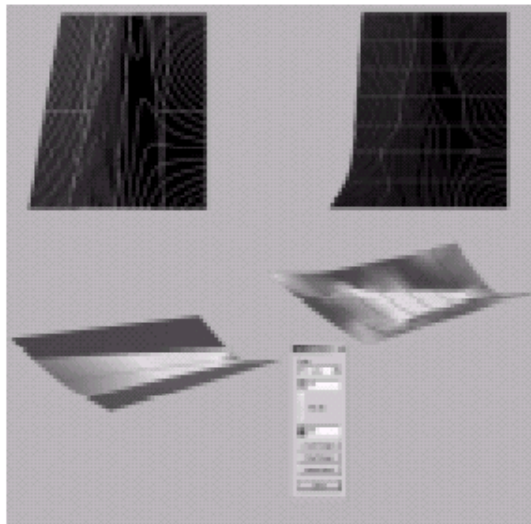


Figura 2.15: Capela de Ronchamp: análise formal e de curvatura da cobertura.³¹

2.3.3 - Modelos de sólidos

Os modelos de sólidos representam o objeto não apenas através de sua superfície, mas abrangendo as propriedades inerentes a um sólido. São descrições não ambíguas e completas em termos de informações do objeto. É a modelagem mais completa, permitindo calcular propriedades mecânicas tais como peso e centro de gravidade. Através de programas que só permitem a entrada de dados consistentes,

³⁰ Fonte: RECOT, J.; MESA, A de; GARCIA, N. El análisis de lãs formas de la arquitectura a partir de la generación digital de superficies. Ronchamp. IN: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, V., 2001, BioBio. *Anais ... BioBio*: Universidade del BioBio – Chile, 2001. p 295-298. CD.

³¹ Fonte: idem, op.cit.

e que se baseiam em conceitos da Geometria e da Topologia, pode-se garantir a correção do modelo.

Para que este modelo seja armazenado na memória do computador, existem os esquemas de representação, que segundo Ferreira (s/d) estão divididos em três grandes classes:

- Modelamento por Fronteira, ou B-Rep;
- Geometria Sólida Construtiva ou CSG;
- Decomposição.

Modelamento por fronteira – B-Rep

O esquema de representação chamado **B-Rep**, ou **representação por fronteira** (*boundary representation*, em inglês), descreve as faces, arestas e vértices que formam o sólido, representando os sólidos pela sua superfície envoltória. Esta estratégia começa com a criação de um modelo de arame, que é então analisado e “renderizado”³² para se visualizar o modelo em construção. É uma operação que envolve um processo de análise do modelo de arame do objeto, para verificar se ele está com suas fronteiras completamente definidas. Esta verificação é feita a partir de algoritmo de validação do sólido que permite que só duas faces se encontrem em uma aresta e que cada vértice tenha apenas um cone de faces adjacentes. Caso, após a análise, seja verificado que as fronteiras do modelo estão completamente definidas, então a este pode ser aplicado o acabamento. Caso contrário, o modelo deve ser corrigido antes de se aplicar o *rendering*, ou então deve ser descartado, já que qualquer erro na definição das fronteiras, implicará na não obtenção do modelo sólido desejado. Esta é a razão de muitos usuários desistirem de utilizar este esquema de representação. Segundo Ferreira (s/d), a representação mais usada neste tipo de modelagem baseia-se na sua descrição por arestas, que tem como vantagem a possibilidade destas serem retas ou curvas, bastando para isso fornecer um número apropriado de pontos na sua definição (Figura 2.16). Nesta modelagem

³² *Render*: acabamento (*rendering*, em inglês), representa um processo de geração de imagens a partir de modelo 3D, com a adição de texturas, iluminação, sombra e outros efeitos, para torná-las mais realísticas.

cada face é descrita pela sua fronteira – uma sequência de arestas, denominada de laço (*loop*, em inglês).

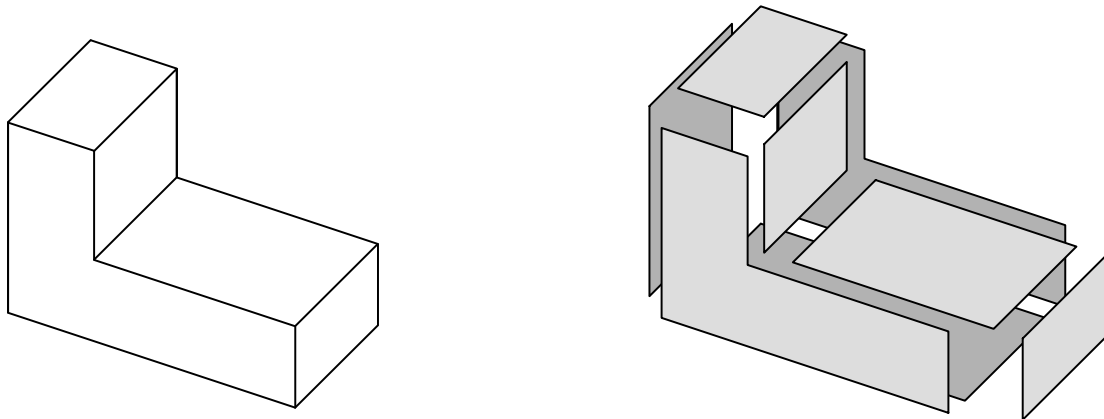


Figura 2.16: À esquerda, um sólido modelado por fronteira, e à direita as faces utilizadas no seu modelamento.

Este tipo de representação é muito usado para as aplicações voltadas à visualização, já que as faces já se encontram descritas na estrutura de dados, sendo bastante para visualizá-las, aplicar técnicas de saída gráfica (FERREIRA, s/d).

Geometria Sólida Construtiva – CSG

O esquema de representação **CSG** permite que o usuário combine sólidos primitivos³³ em formas complexas, através de operações de união, subtração e interseção (denominadas operações booleanas), de forma isolada ou combinadas. Podem ser utilizados também recursos de edição tais como cópia (de parte do sólido ou do todo), translação, rotação, cortes, chanfrados, etc.

Como primitivos podem ser utilizados os sólidos básicos, como o paralelepípedo, a pirâmide, o cone, o cilindro, o toro e a esfera. Também podem ser criados outros primitivos mais complexos, a partir de operações de varredura (ou *sweeping*, em inglês), extrusão e rotação.

³³ Os primitivos tridimensionais, segundo Amorim (1999), são modelos paramétricos de sólidos geométricos elementares como, por exemplo, o prisma reto, a cunha, a esfera e o cilindro, e que constituem cada um deles uma única entidade.

Apesar da simplicidade da operação, a CSG permite que sejam obtidas inúmeras formas a partir de combinações de poucos elementos, como pode ser visto a seguir. No exemplo extraído de Rodriguez (1992), a partir de dois sólidos primitivos, uma esfera e um cubo, e efetuando-se apenas as operações booleanas de união, subtração e interseção, quatro diferentes modelos sólidos podem ser obtidos (Figuras 2.17, 2.18 e 2.19).

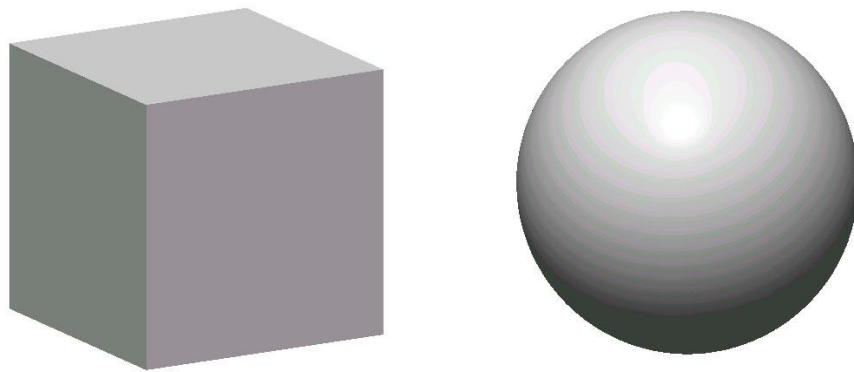


Figura 2.17: Cubo (esquerda) e esfera (direita). Primitivos aos quais serão aplicadas operações booleanas.

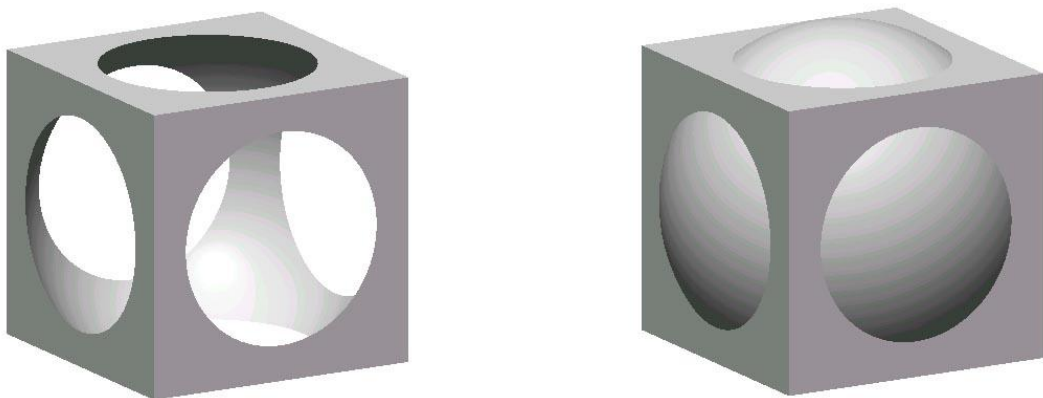


Figura 2.18: À esquerda, aplicação de operação de subtração, cubo - esfera; à direita, aplicação de operação de união, cubo + esfera.

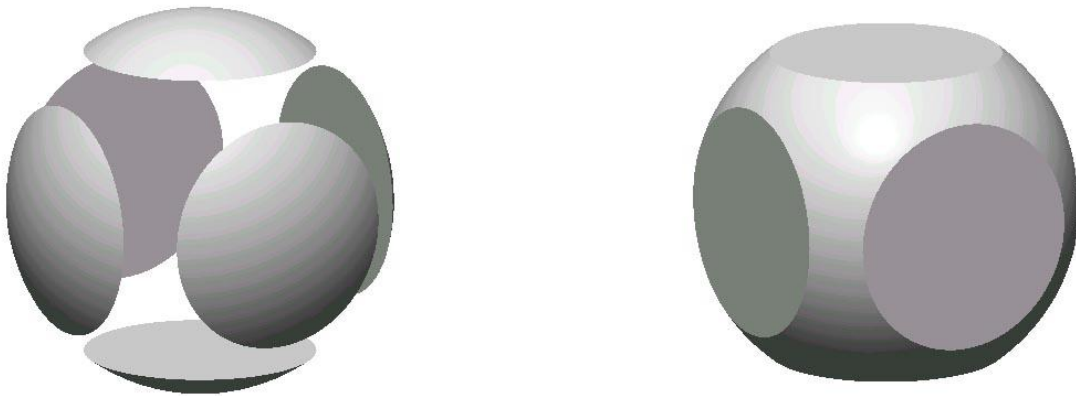


Figura 2.19: À esquerda, aplicação de operação de subtração, esfera – cubo; à direita, aplicação de operação de interseção ao cubo e à esfera.

Na figura 2.20 podem ser vistos os sólidos resultantes da aplicação de operações booleanas em dois sólidos primitivos, um cilindro e uma esfera. O cilindro foi criado a partir da extrusão de uma circunferência e a esfera foi gerada pela revolução de uma circunferência. Aos dois primitivos iniciais foram aplicadas operações de união (Figura 2.20a), interseção (Figura 2.20b) e subtração (no primeiro caso, da figura 2.20c, o cilindro-esfera e no segundo, visto na figura 2.20d, a esfera – cilindro). Os novos sólidos gerados podem ser usados como primitivos na criação de outros e assim por diante.

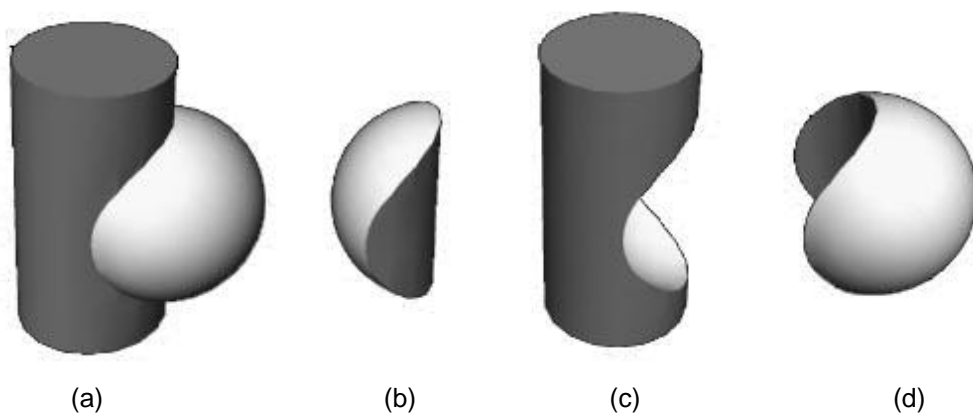


Figura 2.20: Sólidos resultantes da aplicação de operações booleanas em um cilindro e uma esfera.

Decomposição

Neste esquema de representação o sólido é decomposto em um tipo de bloco básico, geralmente cubos, que podem ser de resolução fixa ou variável, ou então são decompostos em células de tamanho fixo ou variável.

Segundo Ferreira (s/d) são três os principais tipos de representação neste esquema: a enumeração exaustiva, a *octrees* e a decomposição por células.

No primeiro caso, a **enumeração exaustiva**, os sólidos são representados através de cubos, de tamanho fixo, também chamados *voxels* (*volume element*), e o modelo é representado enumerando³⁴ os cubos que o compõem. Para fazer parte da enumeração, o cubo deve estar totalmente contido no sólido. O sólido assim representado pode ter imprecisões, sendo o método mais preciso quanto menor for o cubo elementar ou elemento equivalente adotado, o que pode fazer com que o volume de dados que formalizam o modelo seja muito grande e, conseqüentemente tornando lento o seu processamento (Figura 2.21).

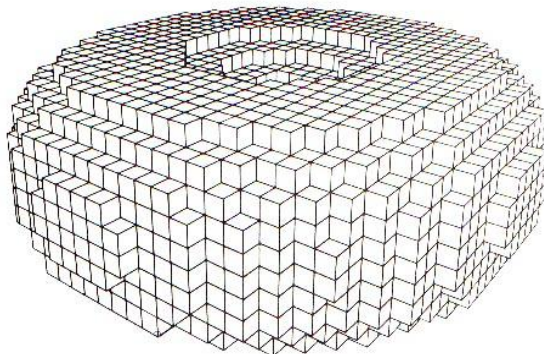


Figura 2.21: Toróide representado por enumeração exaustiva ou enumeração espacial.³⁵

No esquema de representação denominado de **octrees**, o objeto é dividido em blocos de tamanho variável. O processo se desenvolve do seguinte modo:

- primeiro parte-se de um bloco cúbico (sólido envolvente) que contenha totalmente o objeto;

³⁴ Por enumeração entende-se a citação em série, contagem.

³⁵ Fonte: FOLEY J. D. et. alii. Introduction to Computer Graphics. Massachusetts: Addison-Welsey Publishing Company, 1993. p. 382.

- a seguir, este bloco é dividido em oito cubos menores de lado igual a metade do original, que são identificadas com três critérios; preto (cheio), se o interior do cubo estiver totalmente preenchido pelo sólido; cinza, se estiver parcialmente preenchido, e branco (vazio) se no interior do cubo não houver qualquer parte do sólido;
- os cubos preto e cinza são novamente subdivididos em oito cubos, aos quais são aplicados os mesmos critérios;
- este processo de análise é feito recursivamente, até que todos os blocos estejam totalmente “brancos” (vazios), ou totalmente pretos (cheios), ou então até que a precisão máxima do processo seja atingida.

Este processo contínuo de subdivisão é responsável pela precisão ou resolução do modelo. No que pese ser este um algoritmo mais complexo que o anterior ele é de simples implementação e facilmente manipulado pelo computador, devido ao pequeno volume de dados que gera para representar o modelo. Na figura 2.22a pode ser visto o sólido envolvente, o octante com o sentido da numeração utilizada; na figura 2.22b vê-se o sólido resultante; e na figura 2.22c a octree que representa o sólido.

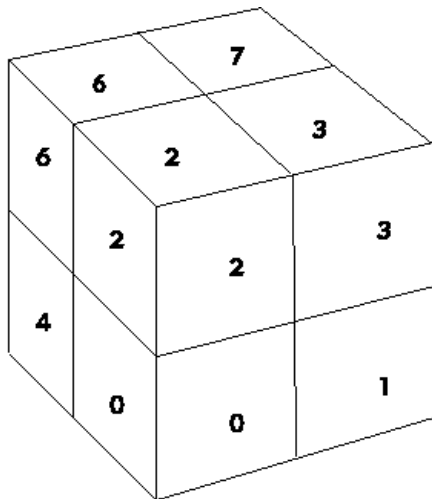


Figura 2.22a: Sólido envolvente, octante e sentido da numeração

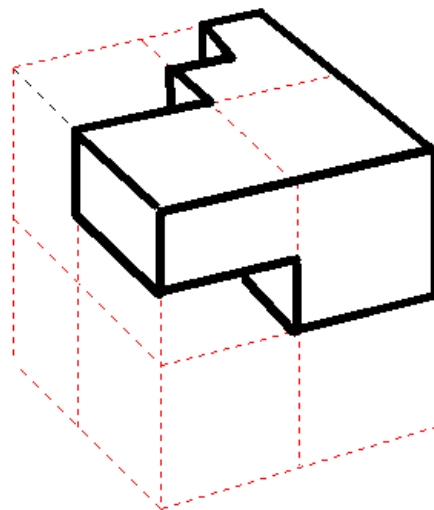


Figura 2.22b: O sólido

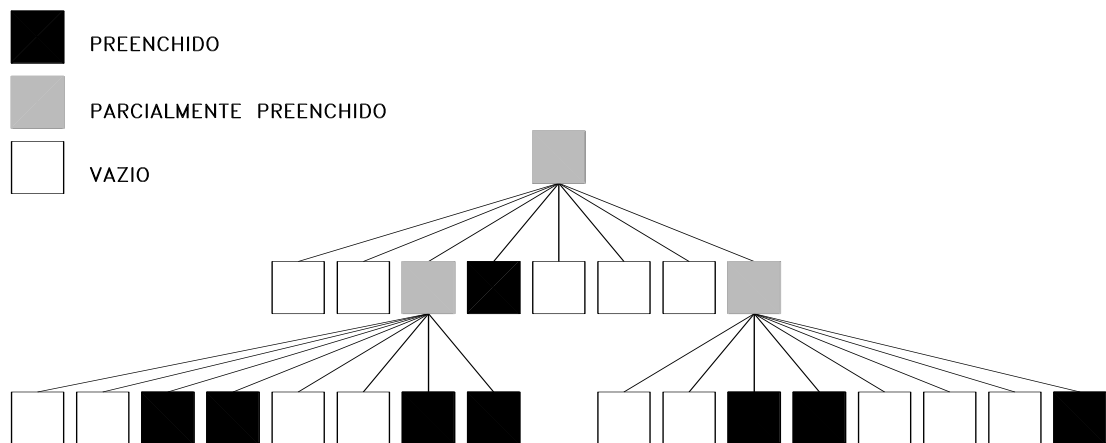


Figura 2.22c. Representação de um sólido por *octree* - A árvore (como a perspectiva é ambígua, sem que seja possível saber os detalhes da parte não vista, esta octree apresentada é uma possível árvore do sólido).

Já na **decomposição celular**, os blocos podem variar de forma e tamanho, desde que equivalentes topológicos da esfera, isto é, sejam células sólidas, sem “buracos”. Estas células são então combinadas através de “colagem”. Um poliedro com faces planas ou curvas é geralmente uma célula típica, sendo que as curvas necessitarão de pelo menos três pontos para serem definidas. O poliedro assim formado, chamado de quadrático, irá então necessitar de pelo menos vinte pontos para ser definido precisamente (Figura 2.23). Este tipo de representação tem como vantagem necessitar de pouca memória para seu processamento e representação. Este é o processo usado na geração de malhas “sólidas” ou superfícies de elementos finitos.

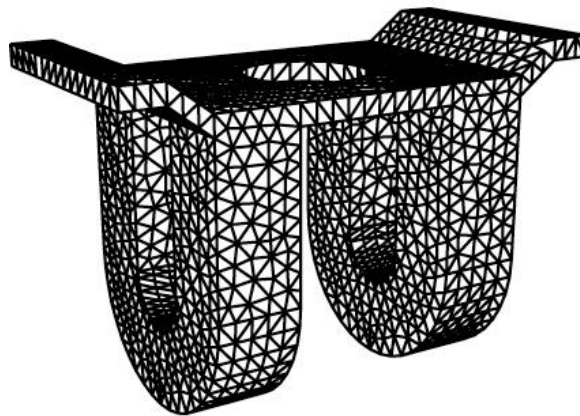


Figura 2.23: Peça mecânica modelada a partir da decomposição celular.³⁶

³⁶ Fonte: disponível em <www.unesp.br/propp/dir_proj/Industria/Industr26b.htm>. Acesso em 21/2005

Os tipos de modelamento de sólidos vistos até aqui, o Modelamento por Fronteira (B-Rep), a Geometria Sólida Construtiva (CSG) e a Decomposição, podem ser considerados como formas clássicas de modelamento. Recentemente outra forma de modelamento vem sendo desenvolvida e utilizada em alguns experimentos arquitetônicos, a partir da utilização dos BLOBS ou *metaballs*.

Os BLOBS ou *metaballs*, de uma maneira bem simples, podem ser definidos como esferas que se juntam como glóbulos quando “renderizadas”. O grau de junção ou fusão depende de fatores tais como: gravidade mútua (peso), raio de influência, e forma-tipo (pode ser esfera ou elipsóide, por exemplo). As figuras 2.24, 2.25a e 2.25b extraídas de Maestri³⁷ ilustram a formação de um glóbulo a partir de esferas sob a ação de seus raios de influência.

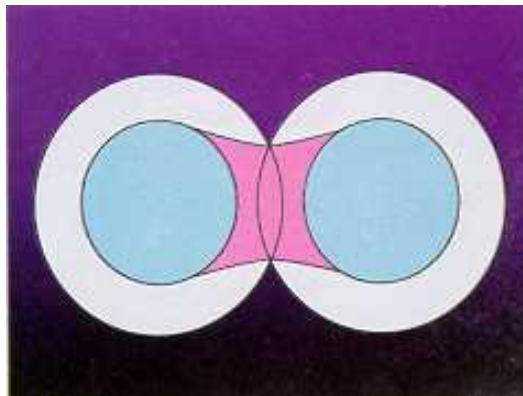


Figura 2.24: Duas esferas, ou *metaballs* e seus raios de influência.



Figura 2.25a: As esferas isoladas



Figura 2.25b: As duas esferas unidas, sob a ação do raio de influência, transformam-se num glóbulo.

³⁷ In: MAESTRI, G. Animação (digital) de Personagens. São Paulo: Editora Quark do Brasil, 1996.

Segundo Senagala (2001), os BLOBS foram inicialmente desenvolvidos para o estudo de moléculas complexas, sendo depois utilizados em experimentos arquitetônicos, principalmente por Greg Lynn, que usa um *software* de animação para gerar as formas. De acordo com Lynn (2004), BLOB é uma sigla que significa “*binary large objects*”, e o processo de modelagem de formas a partir destes BLOBS tem como princípio o fato de que “esferas” primitivas tem uma zona de influência e uma zona de deflexão, e que estas interagem puxando e fundindo as superfícies em uma grande malha coletiva, ou seja, superfícies que envolvendo um conjunto de elementos. A superfície interna irá sutilmente se adaptar, por pequenas mudanças na escala e posição de alguns de seus elementos constituintes. Este princípio foi usado por Lynn para modelar a Korean Presbyterian Church³⁸ (Figura 2.26). Este é um tipo de técnica de modelagem que apesar de só estar sendo aplicada em arquitetura em alguns experimentos muito recentes, é bastante empregada e há algum tempo na criação de personagens, sem emendas, para animação (MAESTRI, 1996).



Figura 2.26: Koorean Preabiterian Church: interior. Projeto do arquiteto Greg Lynn, que utilizou os BLOBS para sua concepção.³⁹

É importante observar que cada um dos três tipos de modelagem tridimensional, seja gerando modelos de arame, de superfícies ou de sólidos, tem suas vantagens e

³⁸ Informações disponíveis em <www.glform.com>, acesso em 27 jan. 2004.

³⁹ Fonte: Disponível em <www.glform.com>. Acesso em 27 jan. 2004.

limitações e a escolha deve ser feita, portanto, de acordo com o que se pretende obter com o modelo e as aplicações previstas (REGO, 2000).

As formas mais simples, convencionais são modeladas utilizando-se o modelamento geométrico, prevalecendo o de sólidos, por ser aquele que possibilita maior manipulação, permitindo simulações e análises como de esforços mecânicos, comportamento acústico, lumínico e térmico, etc.(REGO, 2000).

Já as formas complexas, não convencionais, incluindo aquelas já citadas como uma nova arquitetura de formas mais orgânicas, são compostas ou a partir de polígonos, modeladas a partir de representações de sólidos como a B-rep, ou de superfícies contínuas. Estas formas podem ser descritas com precisão através de ferramentas de modelagem 3D utilizando curvas *splines*, incluindo as NURBS.

Existem hoje no mercado, diversos *software* que fazem modelagem das superfícies NURBS, tais como o **Vector Works**, o **CATIA**⁴⁰ e o **RHINOCERUS** e estes dois últimos, mesmo não sendo programas dedicados ao projeto de arquitetura, podem ser adaptados para projeção de objetos arquitetônicos.

No item 2.4, serão apresentadas características de alguns dos *software* existentes no mercado e que são utilizados em projetos de arquitetura, com ênfase nos aspectos relativos à modelagem tridimensional.

2.4 FERRAMENTAS CAD E A PRODUÇÃO DA FORMA

A criação e a materialização da forma arquitetônica se dá pela representação, e quando o projeto arquitetônico utiliza as ferramentas tradicionais para sua concepção e representação, os recursos utilizados são os croquis, as maquetes e os

⁴⁰ CATIA – *Computer Assisted Three-dimensional Interactive Application* (Aplicações Tridimensionais Interativas Assistidas por Computador). Programa desenvolvido pela empresa Dessault Systèmes, subsidiária do fabricante francês dos aviões Mirage, e distribuído pela IBM, a partir de um sistema de desenho mecânico já existente, o 2250 Graphics Display Sistem, da IBM (Steele, 2001, p. 125).

desenhos baseados nos sistemas projetivos. Entretanto, ao se utilizar as ferramentas computacionais, especificamente as ferramentas CAD, surge a possibilidade da forma ser gerada através do modelamento geométrico tridimensional, que já teve suas características explicitadas no capítulo anterior, e que tem possibilitado a geração de formas não convencionais, mais complexas em sua geometria do que os volumes prismáticos e suas composições.

Outra maneira que tem sido utilizada na geração de formas complexas auxiliada pelas ferramentas computacionais é a de se elaborar maquetes que representam as propostas formais, que são então digitalizadas, sendo para tanto utilizados *software* que possibilitam o seu reconhecimento, definição geométrica, manipulação e visualização de forma precisa.

Existem disponíveis no mercado vários programas que possibilitam a produção da forma arquitetônica através do modelamento geométrico tridimensional, e/ou através da digitalização de maquetes. Algumas são ferramentas genéricas, outras são dedicadas ao projeto de arquitetura e outras específicas de modelamento.

As ferramentas, se analisadas sob duas vertentes, uma referente às suas características gerais e outra, com relação aos recursos de modelamento geométrico tridimensional das formas, podem oferecer um panorama das possibilidades que o projetista tem na produção da forma auxiliada por computador.

Para esta pesquisa, tomou-se como exemplo algumas ferramentas existentes no LCAD – Laboratório de Computação Gráfica Aplicada à Arquitetura e ao Desenho da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, local onde a mesma se desenvolveu. Foram utilizados como base os manuais de utilização das mesmas, informações encontradas nos *sites* de seus fabricantes e entrevistas realizadas com usuários destas ferramentas. Assim, algumas observações a respeito das possibilidades por elas oferecidas podem ser feitas.

É importante observar que o número de programas analisado é bem menor que o existente hoje no mercado, e que as observações que se mostram a seguir foram

colhidas em diversas fontes e não resultam da experiência prática da pesquisadora em sua utilização.

Assim, objetivou-se apenas lançar algumas informações acerca do que é minimamente possível de ser obtido em termos de geração e representação da forma, com os recursos de alguns programas e, para tanto, foram escolhidos dentre os programas mais conhecidos e utilizados por estudantes da nossa instituição de ensino (FAUFBa) e profissionais de arquitetura, aqueles existentes no LCAD e, portanto, disponíveis para análise.

Os programas analisados foram:

- **ARCAD V5;**
- **AutoCAD Architectural Desktop 2004;**
- **ArchiCAD Versão 8.0;**
- **Arqui_3D Versão 2000;**
- **AutoCAD 2000;**
- **CATIA V5 R13;**
- **MicroStation Triforma V 8.1;**
- **Rhinoceros V 1.0 e V 1.1;**
- **Vector Works V 10;**
- **3ds Max V 6⁴¹.**

Como já foi colocado, o universo para análise se restringiu aos programas disponíveis dentre os mais utilizados. Analisar um número maior seria uma tarefa exaustiva e não traria contribuições ao trabalho, até porque muitos dos programas existentes diferem em pequenos detalhes que não iriam alterar substantivamente sua influência na produção da forma. Assim, a pesquisa foi baseada nos manuais de utilização dos programas, em informações oferecidas pelos *sites* do fabricante do programa ou e em entrevistas com seus usuários, com exceção do **CATIA**, pois houve dificuldade em encontrar no nosso universo de pesquisa, no caso a FAUFBa, usuários deste *software*. Também é necessário esclarecer que não consta do objetivo desta análise fazer uma comparação entre os programas analisados, daí

⁴¹ “3ds” é a nova denominação encontrada no *site* do fabricante para o *software* 3D Studio.

porque, sempre que possível, as observações serão feitas em conjunto, evitando-se uma apresentação individual detalhada dos programas⁴².

Com relação às vertentes de análise, a primeira, que trata das **características gerais** do *software*, privilegia informações acerca dos aspectos relativos ao tipo do *software* – se genérico ou dedicado, se o programa é independente ou se “roda” no ambiente operacional de outro programa, como se dá a exportação dos dados, qual o grau de completeza dos modelos e desenhos deles extraídos (quando existe esta possibilidade), se existe vinculação entre os desenhos e os modelos tridimensionais, e quais os tipos de modelo que podem ser produzidos.

A outra vertente da análise diz respeito aos **aspectos específicos vinculados a geração da forma**, tais como os comandos utilizados e as operações que podem ser levadas a efeito na produção da forma.

2.4.1 Características gerais

a. Ferramentas genéricas

Dentre os programas analisados apenas um é genérico, o **AutoCAD**, mas foi considerada válida a sua análise por se tratar de um programa muito utilizado por estudantes e profissionais de arquitetura. Sendo genérico, destina-se à produção de desenhos de uma maneira geral, possibilita a modelagem tridimensional de objetos e não possui comandos específicos para geração de objetos arquitetônicos. Esta tecnologia é utilizada pelos programas dedicados e será detalhada mais adiante, quando estes estiverem sendo enfocados. Logo, os desenhos no **AutoCAD** são feitos passo-a-passo, através da utilização de linhas geométricas não parametrizáveis para construir objetos arquitetônicos como paredes, janelas, portas, etc.

No caso do **AutoCAD**, em algumas situações, a depender de como o projeto é desenvolvido pode não haver vinculação entre os desenhos e os modelos. Isto quer

⁴² No apêndice 01, podem ser encontradas as fichas individuais dos programas analisados, com informações mais detalhadas de cada um.

dizer que as operações realizadas nos desenhos não refletem no modelo e vice-versa, o que dificulta o trabalho do projetista, pois cada modificação que for levada a efeito no modelo terá que ser por ele, o projetista, atualizada nos desenhos, o mesmo ocorrendo no sentido inverso. São construções independentes.

Outro aspecto a ser levado em conta é quanto ao tipo de modelagem utilizado pelo programa, que tem influência no tamanho do arquivo a ser gerado, além de que o fato do modelo ser de superfície ou sólido também terá reflexos na sua manipulação, propiciando maior ou menor facilidade no uso e flexibilidade de interação entre o usuário e a ferramenta, como já foi observado mais detalhadamente no capítulo anterior. No **AutoCAD** os modelos obtidos podem ser de arestas (*wireframe*), superfícies ou sólidos.

b) Ferramentas de modelamento e/ou dedicadas para mecânica

Três dos programas analisados não são ferramentas dedicadas à arquitetura, mas sim de modelamento, sendo utilizados para *design*, principalmente na engenharia e suas aplicações como na indústria automobilística, aeroespacial, de eletrodomésticos, de equipamentos médicos e esportivos, etc. São eles o **3ds Max** (que também tem aplicações em publicidade e cinema), o **Rhinoceros** e o **CATIA**. São programas específicos de modelamento, e permitem a exportação dos dados em formatos como o DWG e o DXF, por exemplo.

Estes programas de modelamento possuem módulos que produzem vistas e seções que permitem a manufatura das peças. Existe, na maioria deles, uma integração entre os desenhos e modelo no sentido de que os desenhos podem ser obtidos diretamente do modelo. Todos possibilitam a obtenção de modelos de superfície, sendo que no **CATIA** também é possível o trabalho como modelo de aresta, e no **Rhinoceros** a obtenção de modelos sólidos. Também possibilitam a geração de superfícies complexas, utilizando tanto curvas *spline* e NURBS, determinadas por equações que as representam matematicamente. Possuem também módulos que permitem a confecção de protótipos ou até mesmo a usinagem de objetos diretamente a partir do modelo. Levando-se em consideração que, partes do edifício

podem ser objetos pré-fabricados, esta é uma possibilidade que favorece o projetista. Por exemplo, elementos de vedação ou de revestimento podem ser projetados e o projeto ser encaminhado diretamente para o corte com otimização no sentido de reduzir as perdas, como ocorreu com as placas de titânio que cobrem o Museu Guggenheim de Bilbao.

c) Programas dedicados ao projeto de arquitetura

O outro tipo de programa analisado é aquele dedicado à arquitetura, no caso o **ARCAD**, o **AutoCAD Architectural Desktop**, o **ArchiCAD**, o **Arqui_3D**, o **Microstation Triforma** e o **VectorWorks**. São programas que utilizam a “tecnologia orientada a objetos”. Nestas ferramentas a representação da proposta é feita utilizando objetos arquitetônicos, como paredes, cobertura, estrutura e esquadrias para a construção do modelo. Assim, os objetos são associados de modo “inteligente”, como por exemplo uma esquadria que está associada a uma parede, só pode ser representada nesta parede (REGO, 2000). Observa-se, entretanto, que esta representação de objetos varia de ferramenta para ferramenta, sendo em muitos deles deficiente, principalmente em relação à concepção, representação, cálculo e detalhamento de alguns objetos como escadas e coberturas o que acarreta limitações ao seu uso.

A maioria destes programas tem seus desenhos e modelos vinculados, ou seja, no **ARCAD**, **ArchiCAD**, **AutoCAD Architectural Desktop** e no **Microstation Triforma** a partir de um é possível obter-se o outro, e qualquer modificação realizada em um será automaticamente atualizada no outro, facilitando portanto o trabalho do projetista. Neste caso, o “desenho” é uma instância de visualização do modelo, a partir de um determinado ponto de vista.

Com relação ao tipo de modelos gerados, estes podem ser, de maneira geral, de aresta, de superfície ou sólido, havendo predominância deste último para os objetos arquitetônicos.

2.4.2 Aspectos vinculados à geração da forma

a. Ferramentas genéricas

Em se tratando de editores de desenho e modeladores genéricos, não existem, como já foi colocado, funções específicas para geração de objetos arquitetônicos, tais como paredes, vigas, etc. Os desenhos devem ser criados a partir das funções existentes para geração de elementos geométricos, tais como linha, polilinha, arco, *spline*, ou de figuras como círculo, retângulo, elipse e polígonos regulares. Quanto ao modelamento tridimensional, este pode ser feito utilizando-se primitivos geométricos pré-existentes no programa⁴³ ou construído a partir de linhas geratrizes, abertas ou fechadas, às quais são aplicadas operações de varredura - extrusão ou revolução. Ainda no modelamento, para a criação de formas mais complexas, podem ser aplicadas operações booleanas.

As formas criadas, tanto bidimensionais como tridimensionais podem ser manipuladas também a partir de operações de edição, tais como cópia, espelhamento, aparar, seccionar, arredondar, estender e escalar, dentre outras, bem como serem movidas ou giradas.

Todos estes comandos propiciam uma flexibilidade razoável quando se tratam de formas simples, derivadas de sólidos primitivos⁴⁴. No caso das formas curvas, complexas, são bastante limitados, pois nem todas as operações podem ser realizadas. Isto porque estas formas, na sua maioria, são representadas através de superfícies, e determinadas operações de edição como o seccionamento, por exemplo, só podem ser aplicadas à sólidos.

b. Ferramentas de modelamento

Como o próprio nome diz, se trata de construir um modelo tridimensional que represente uma determinada forma. Para esta representação é utilizada a malha poligonal, sendo que em se tratando de superfícies curvas, possibilitam suavizar ao

⁴³ Prisma (*box*), esfera, cilindro, cone, cunha e toro.

⁴⁴ Ver item 1.3.1, nota 10, desta tese.

máximo a representação destas, mesmo as mais complexas, devido à utilização de equações matemáticas na definição dos dados gerados, sendo com frequência baseadas em curvas Bezier, *splines*, e NURBS.

As funções de geração de formas são basicamente as mesmas para todos os modeladores: pontos, linhas, planos, curvas, superfícies e “polisuperfícies”⁴⁵. Existe também a possibilidade do modelamento a partir da digitalização de maquetes. Aos elementos de geração, podem ser aplicadas operações de varredura - extrusão e revolução, e os objetos criados podem ser editados através de transformações várias como escalamento, arredondamento, chanfro, suavização e aparamento. Além disto também podem ser aplicadas operações booleanas de união, subtração e interseção. Existem algumas funções especiais, chamadas de modificadores, que como o próprio nome diz, modificam ou deformam o objeto, facilitando a sua manipulação.

Estes programas, pelas características expostas, permitem um grau elevado de flexibilidade na concepção e manipulação de superfícies, inclusive as mais complexas, e apesar não serem destinados ao projeto de arquitetura, tem sido utilizados, com adaptações, na criação e representação de formas arquitetônicas não convencionais.

Exemplo desta aplicação será apresentado no Capítulo 3, sobre as “Formas Arquitetônicas em Ambiente Computacional”, onde são citados projetos de Frank Gehry, cujo escritório de arquitetura “adaptou” o **CATIA** para sua utilização, devido à complexidade das formas propostas por este arquiteto. Do mesmo modo, a ESARQ – Escola Tècnica Superior d’Arquitectura da Universitat Internacional de Catalunya, utiliza com seus alunos e pesquisadores no seu “Taller de Arquitectura Digital” (um setor criado para pesquisar teórica e tecnicamente o uso das novas tecnologias aplicadas à arquitetura) o **Rhinoceros**, para o modelamento tridimensional das formas propostas, de maneira geral, formas complexas⁴⁶.

⁴⁵ Esta é a tradução adotada para o termo originalmente em inglês, “*polisurface*”, e corresponde a objetos existentes no Rhinoceros os quais, conforme sua documentação, consistem em duas ou mais superfícies que são unidas.

⁴⁶ Maiores informações neste sentido podem ser obtidas em <www.única.edu/esarq/geneticarq>, e na Revista AU, Ano 19, nº 119, fevereiro 2004.

c. Programas dedicados ao projeto de arquitetura

A “tecnologia orientada a objetos” utilizada nestes programas faz com que a geração da forma se dê com a “construção” a partir dos próprios elementos arquitetônicos, tais como paredes, lajes, pilares, esquadrias, escadas, cobertura. Estes elementos vão sendo “construídos” a partir de comandos específicos, tanto em suas vistas ortográficas no desenho como no modelo tridimensional. Geralmente são construídos em “camadas” específicas, nas quais estão associadas as propriedades do objeto arquitetônico, que podem ser modificadas. Por exemplo, ao ser acionado o comando “parede”, a construção desta se dará na camada específica, já estando predefinidas sua espessura e altura. Através de um comando de edição de parede, as dimensões e outras propriedades podem ser modificadas. O mesmo acontece com os outros objetos arquitetônicos.

De maneira geral, o projeto pode ser gerado inicialmente em 2D e depois modelado em 3D, ou pode também ser primeiro modelado em 3D e deste modelo serem produzidas as plantas, cortes e elevações. Como colocado, na maioria destes programas dedicados, os desenhos são apenas instâncias de visualização dos modelos, o que significa dizer que o projetista ao alterar um, terá o outro automaticamente atualizado. A modelagem pode ser feita, a partir da planta baixa, ou diretamente no modelo, a partir de dados que já estão previamente definidos, tais como as dimensões da parede e sua localização, atributos e assim por diante.

A manipulação destes objetos pode ser feita através de comandos de edição, tais como operações de deslocamento, cópia, escalamento, rotação, e união, subtração e interseção (operações booleanas). Entretanto existem algumas limitações na manipulação do modelo, o que requer que algumas operações sejam efetuadas em 2D, ou ainda que a representação seja refeita. Entretanto a maioria dos objetos (elementos constituidores do modelo) é parametrizável, o que permite ao projetista que sejam feitos os ajustes necessários, antes ou durante o processo.

Observa-se que os programas, a depender dos recursos que oferecem em termos de modelagem, tanto podem auxiliar o projetista como também se tornar um

limitador na sua tarefa de criação, em especial de formas complexas. Os programas dedicados à arquitetura oferecem muito poucas alternativas de modelamento para superfícies curvas, em especial aquelas que poderiam ser chamadas de “polisuperfícies”, que seriam a junção de duas ou mais superfícies. A maioria executa o modelamento como malhas poligonais, o que constitui uma representação aproximada da superfície curva “ideal”.

No caso das superfícies complexas, principalmente aquelas derivadas de curvas, observou-se que, até o momento, o uso de modeladores é o mais indicado para a fase do modelamento do objeto, que depois pode ser exportada para um formato aceito pelos programas de desenho arquitetônico, como o formato DWG, onde então seriam produzidos as plantas, cortes, elevações e detalhes, ou seja, os desenhos ortográficos de documentação do projeto. Ou ainda, pensando no futuro, no caso de partes da construção que pudessem ser construídas em máquinas CNC. Neste caso os objetos projetados seriam transferidos diretamente do computador para estes equipamentos, através destes mesmos programas de modelagem, ou utilizando-se conversores, onde seriam então fabricados. Em recente exposição denominada “*Architectures Non Standard*”, realizada no início de 2004 no Centro Georges Pompidou, em Paris, França, experiências deste tipo foram apresentadas por arquitetos ou equipes de arquitetos como Bernarde Cache e o grupo “dECOI Architects”, ambos da França, pelo escritório R&Sie, da Suíça, e o grupo NOX, da Holanda⁴⁷. Nestes trabalhos foram utilizadas máquinas CNC ou de Prototipagem Rápida (PR), para que os projetos fossem “concretizados” em modelos físicos, o que não teria sido possível de realizar com o ferramental tradicional de construção de maquetes⁴⁸.

2.5 A REALIDADE VIRTUAL COMO RECURSO AUXILIAR DE PROJETAÇÃO

A Realidade Virtual é um recurso tecnológico que pode ser aplicado ao projeto de arquitetura, com rebatimento na produção da forma e que surge a partir das

⁴⁷ Sobre esta exposição ver a Revista AU, nº 119 de fevereiro de 2004.

⁴⁸ Apesar de terem sido expostos desenhos e maquetes de objetos arquitetônicos ainda não construídos e que, portanto, não podem ser considerados arquitetura, são uma apresentação de conceitos, indícios e demonstrações do que pode vir a ser projetado e construído no futuro.

tecnologias computacionais, trazendo no seu bojo a combinação de vários tipos de simulação, dentre os quais o mais evidente é a simulação da interação entre o usuário e o espaço que está sendo “criado”, fazendo com que o usuário sinta o espaço como se o mesmo já estivesse construído.

De acordo com Nóbrega (2003), a realidade virtual trouxe novas perspectivas para o ato de projetar, provocando mudanças no processo, já que possibilita ao arquiteto testar suas idéias em tempo real, e com a projeção sendo baseada no estudo de modelos tridimensionais, em escala 1:1. Assim, os usuários podem, além de visualizar os objetos que estão sendo criados, manipular estes mesmos objetos interagindo com o computador em ambientes imersivos de projeto. Observe-se que, embora seja denominada “realidade virtual”, a única realidade é o efeito produzido sobre nossos sentidos, já que este é um mundo que só existe na memória do computador e em nossa imaginação (SAINZ, 1992).

Segundo Pratini (1999, p.166), a Realidade Virtual é uma tecnologia que procura “criar um ambiente rico em informações, combinando interação visual, auditiva e tátil, para criar a ilusão de objetos reais e experiências sensoriais para o usuário”. Através da utilização de recursos como capacetes para visualização, luvas para sensações táteis e manipulação de objetos, ou trajes completos para vestir e sentir, a Realidade Virtual propõe isolar o usuário das sensações do mundo real e cria efeitos mais realísticos.

Pratini (1999, p.44) chama ainda atenção para o fato de que este termo, originalmente referia-se à “realidade virtual imersiva”, onde busca-se isolar o usuário de seu meio ambiente normal para imergi-lo em um mundo artificial e tridimensional inteiramente gerado por um computador. Entretanto, o termo foi tendo seu emprego ampliado e hoje é empregado “para quase todas as técnicas que buscam fornecer ao usuário uma sensação de interagir e poder manipular o mundo virtual, estando ou não imerso nele”.

Além do computador, os dispositivos mais utilizados num sistema básico de Realidade Virtual, ainda segundo Pratini (1999) são os dispositivos de visualização (HMD – *Head Mounted Display* ou um óculos estereoscópio), e uma luva de entrada de dados (*data glove*)⁴⁹. Além destes, os sistemas virtuais mais completos também fazem uso de capacetes de visualização, trajes especiais (que dão ao usuário até mesmo sensações de calor/frio e pressão), e ainda desenvolvem-se em uma sala, “cave”⁵⁰ ou veículo de simulação, onde se busca isolar o usuário das sensações exteriores.

A utilização de sistemas de Realidade Virtual como base para a concepção de objetos e desenvolvimento de projetos arquitetônicos, permite que estes sejam “construídos” virtual e interativamente como sólidos acabados, com detalhes e possibilitam visualizá-los completamente devido à autonomia de movimento em tempo real proporcionada pelo espaço virtual. A partir de uma completa visualização tridimensional do objeto é que serão então elaborados os desenhos de documentação necessários à sua edificação.

No sentido de facilitar a modelagem dos objetos a partir da utilização da Realidade Virtual, Pratini (1999) em sua tese de doutorado, desenvolveu uma interface que procura se aproximar do gestual utilizado ao se esculpir uma forma. Propõe a substituição do gestual do lápis sobre o papel na elaboração de esboços e croquis por uma descrição gestual do modelo tridimensional desejado. O sistema por ele proposto compõe-se de dois módulos: um protótipo modelador de superfícies tridimensionais que utiliza os movimentos da mão para descrever e modelar estas superfícies e uma aplicação demonstrativa do uso da luva para a geração e manipulação de sólidos primitivos.

⁴⁹ *Head Mounted Display* (HMD) é um dispositivo de saída de dados sob a forma de óculos ou capacetes equipados com pequenas telas de vídeo para visualização 3D utilizados em realidade virtual e outras aplicações; *Data Glove* (luva instrumentada) é um dispositivo de entrada de dados em jogos ou sistemas de realidade virtual que contém uma série de pequenos sensores para detectar a formação ou o movimento da mão e dos dedos. As informações são transmitidas para o computador e, de acordo com o programa em execução, executa comandos. Cf. PRATINI, E. op. cit. P.162.

⁵⁰ Uma *CAVE* é um ambiente de realidade virtual, do tamanho de uma sala, multi-usuário, de alta resolução, dotado de áudio e vídeo 3D que busca isolar os usuários do mundo real, fornecendo-lhes estímulos e informações geradas por computador. Cf. PRATINI, E. op. cit. P 154.

O primeiro módulo utiliza um rastreador que tem como base um sensor instalado na forma de um *mouse* 3D, que é quase idêntico a um *mouse* comum, mas que opera no espaço e não no plano. Este *mouse*, no protótipo, teria função de definir no espaço, duas linhas de perfil cruzadas, que geram a malha que compõe a superfície, Estas duas linhas, que funcionam como geratriz e diretriz da superfície, são suficientes para definir, segundo o autor, superfícies bastante complexas, que como qualquer esboço, são representações aproximadas e imprecisas e que deverão ser trabalhadas *a posteriori* para seu refinamento (Figura 2.27).

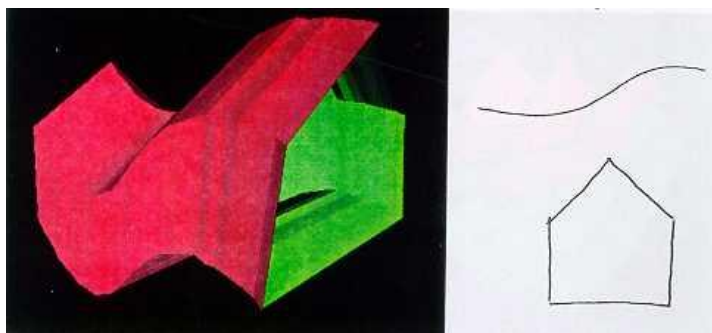


Figura 2.27: À esquerda, exemplo de superfície gerada pelo movimento do *mouse* e à direita as linhas geradoras.⁵¹

O segundo módulo, que corresponde ao aplicativo demonstrativo do uso de luvas instrumentadas para a geração e manipulação de sólidos primitivos utilizou a luva *Cyber Glove*, fabricada pela Virtual Technologies, e a luva *5DT5th Glove*, da empresa General Reality Company, consideradas pelo autor do trabalho como possuidoras de sistemas confiáveis de reconhecimento de gestos.

Estes sistemas permitem que a determinadas posições e formação da mão que veste a luva sejam associados comandos ou funções. Assim, a cada gesto pode ser associado um comando ou função de geração de um sólido primitivo virtual, que pode ainda ser manipulado. Ainda segundo Pradini (1999, p.103), acerca deste experimento, a rigor “não se pode dizer que a aplicação resultante reconhece gestos. Ela faz a leitura das posições dos dedos e, dentro de uma determinada faixa numérica, comanda a geração de um determinado sólido primitivo – esfera, cone e cubo e uma superfície plana para a mão espalmada”.

⁵¹ Figura extraída de PRATINI, op.cit.,p91.

É preciso observar que são recursos que ainda estão na fase de experimento, mas que já dão indícios de serem maneiras viáveis de auxílio ao projeto na fase de concepção, e que podem ser usados na produção de formas variadas, inclusive as não convencionais.

A utilização deste recurso traz no seu bojo uma nova metodologia do projeto arquitetônico. Segundo Nóbrega (2003), os esboços desenhados à mão livre presentes no início da projeção pelos métodos convencionais, podem ser substituídos, com o uso do recurso da realidade virtual, por objetos que serão manipulados e esculpidos na sua criação. Este aspecto traz influência direta no resultado formal do objeto, já que a possibilidade de modelar com as próprias mãos o objeto poderá levar o projetista a buscar novas formas, inclusive orgânicas, complexas em sua geometria.

A depender do *software* utilizado, o processo de projeto assemelha-se a uma construção, onde os elementos construtivos (paredes, esquadrias, coberturas, equipamentos, etc) vão sendo adicionados a partir do modelamento destes elementos ou de bibliotecas existentes no *software*, tornando-se portanto, uma construção “virtual”, rica em detalhes, tendo como resultado final um modelo tridimensional, de visualização mais fácil e, portanto, de melhor compreensão.

Outro aspecto a ser considerado, é o fato de que o objeto arquitetônico criado, durante a fase de validação do projeto, poderá ser visto na sua totalidade, em detalhes, e sofrer a interferência direta e em tempo real por parte não só do projetista mas também do cliente.

Pratini (1996) coloca entre os possíveis benefícios da Realidade Virtual no processo de projeto em arquitetura, a possibilidade de desenvolver todo o processo de projeto num espaço tridimensional esboçando e testando as idéias em tempo real ao que Nóbrega (2003) acrescenta com a “possibilidade de se fazer coisas novas”, ou seja de testar entre outros aspectos do projeto, formas novas.

Entretanto é preciso novamente observar que este recurso ainda está em fase de desenvolvimento e sua implementação e adoção por parte de escritórios de arquitetura ainda é desconhecida.

3. FORMAS ARQUITETÔNICAS EM AMBIENTE COMPUTACIONAL

Novas tecnologias de materiais, aliadas a novos métodos projetuais e técnicas construtivas possibilitam uma nova arquitetura. Essa assertiva vem sendo colocada por diversos autores em recentes publicações, como James Steele, Dennis Dollens e Afonso Orciuolli, que tem se dedicado a analisar a arquitetura que vem sendo produzida recentemente. Arquiteturas “digitais”, “genéticas”, “zoomórficas”, “bio-arquiteturas”, “*time-like architectures*” e arquiteturas “*non-standard*” são algumas denominações que vem sendo dadas à essa produção arquitetônica, cujas formas são complexas, por vezes com um forte referencial orgânico, e que possuem configurações que somente se tornam viáveis com a utilização de computadores na manipulação dos seus elementos, seja nos aspectos projetuais ou construtivos.

Com relação ao nível de utilização das tecnologias computacionais no processo de produção da forma arquitetônica, Steele (2001) observa que este pode ser analisado em três cenários distintos. Num primeiro, predominam as tecnologias tradicionais, e o computador é utilizado como ferramenta complementar. No segundo, o uso das tecnologias computacionais é predominante na realização dos experimentos arquitetônicos, induzindo o projetista à suas possibilidades tecnológicas. Já no terceiro, o que se observa é um equilíbrio entre as tecnologias tradicionais e as computacionais, um híbrido entre o analógico e o digital. Assim, Steele faz uma caracterização dos três cenários através da apresentação e análise de exemplos de obras de arquitetura e dos respectivos processos de projeto utilizados por seus autores.

Soares (1998) por sua vez, destaca que a adoção das ferramentas computacionais no processo de produção da arquitetura pode ser dividida em três fases: a primeira, onde as ferramentas CAD apenas substituem os tradicionais instrumentos de desenho, sem que sejam observados reflexos no processo projetual; uma segunda fase onde a modelagem tridimensional é introduzida e, aí sim, podem ser verificadas mudanças no processo de projeto, ainda que mais voltadas à questão formal; e uma terceira fase, ainda em processo de consolidação, onde programas de simulação são introduzidos como instrumentos de validação da solução projetual, com papel preponderante nas tomadas de decisão.

Mesclando os cenários de Steele com a periodização de Soares, pode-se propor três fases para análise do uso das ferramentas computacionais:

- uma primeira fase, em que as tecnologias tradicionais predominam e as ferramentas CAD apenas atuam como editores de desenho, substituindo os instrumentos tradicionais;
- uma segunda fase, correspondendo à introdução da modelagem tridimensional, e logo em seguida dos programas de simulação, influenciando as decisões de projeto, inicialmente com predominância para as questões formais e, no decorrer do desenvolvimento das ferramentas, de maneira mais ampla;
- a terceira e última fase verifica-se em experiências recentes, com o uso acentuado das técnicas de simulação levando à um predomínio das tecnologias computacionais na projeção, fazendo com que o computador induza e viabilize, de certa forma, estes experimentos arquitetônicos.

3.1 O COMPUTADOR COMO “EDITOR DE DESENHO”

Neste caso, as ferramentas computacionais são utilizadas apenas como um “editor de desenho”, em substituição aos instrumentos tradicionais. Este comportamento, como frisou Soares (1998) é característico de um primeiro momento, onde o uso das tecnologias computacionais se restringiu à sua aplicação como ferramenta de desenho, principalmente os desenhos de apresentação final do projeto, desenhos de

documentação. Foram utilizados tanto os CAD “genéricos” como os chamados “dedicados”, com predominância dos primeiros. É o que comumente se denomina de desenhos (2D). Observa-se nesta fase que as ferramentas computacionais quase não interferem no processo de projeto, no que diz respeito à concepção do partido de projeto, apenas atuam como apoio, facilitando atividades antes consideradas enfadonhas, agilizando rotinas, e possibilitando a edição mais rápida e precisa dos desenhos, além de possibilitarem simulações que irão contribuir positivamente na fase de validação.

Esta tem sido até bem pouco tempo, a utilização mais freqüente, por parte dos projetistas, das ferramentas computacionais na projeção – como instrumentos de tradução, e não será explorada no âmbito deste trabalho, por ter ele o objetivo de verificar a influência das ferramentas computacionais como instrumento de concepção do projeto, com ênfase na forma.

3.2. AS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS TAMBÉM COMO “INSTRUMENTOS DE CONCEPÇÃO”

Continuando com a análise das ferramentas computacionais no processo de projeto, tem-se a fase onde são introduzidos os “modeladores tridimensionais”⁵², que trazem a vantagem de poder representar as idéias concebidas como solução para o problema, de maneira tridimensional, fazendo com que o observador a perceba como realidade, o que incrementa a fase de análise/validação no processo de projeto, interferindo portanto nas tomadas de decisão iniciais, principalmente no que diz respeito aos aspectos da **forma**. Logo a seguir são introduzidos os programas de simulação, cuja utilização aliada aos modeladores tridimensionais irá afetar todo o processo de projeto. Estas ferramentas permitem a modelagem, e conseqüentemente a representação de formas as mais variadas, desde as mais simples, de geometria bem definida, até as mais complexas, inclusive as da natureza (e que não são muito utilizadas em projetos de arquitetura), bem como a simulação de comportamentos estruturais e de conforto térmico, lumínico e acústico

⁵² Os modeladores tridimensionais são *software* que, através da construção de modelos geométricos numéricos, possibilitam a obtenção de representações variadas desde vistas ortográficas até perspectivas do objeto, bem como informações referentes a dados físicos como massa e peso do modelo representado (REGO, 200; p. 62).

do edifício proposto. Neste caso são utilizados também tanto os CAD genéricos quanto os dedicados, mas agora com predominâncias destes últimos, que facilitam a projeção de elementos arquitetônicos.

O uso da modelagem geométrica 3D na projeção pode se dar através do processo compositivo, onde formas primitivas são combinadas a partir de operações descritas como booleanas, de união, subtração e interseção entre sólidos e, também através da modelagem de superfícies. Podem ser também criados objetos que serão manipulados em processos semelhantes ao que acontece quando se trabalha com croquis, fazendo-se transformações geométricas de forma, posição e escala dos volumes. Os modelos tridimensionais podem ser usados para representar os volumes completos de uma edificação, no estudo de massas, suas partes (alvenarias, estrutura, cobertura) ou ainda na representação dos espaços livres para análise de ventilação, sombreamento e volume máximo de construção, dentre outras (VINCENT, 2002).

Os modeladores tornam-se, portanto, facilitadores no processo de produção da forma, mas Vincent (2002) chama atenção para o fato de que também podem se tornar um “inibidor da crítica à essa mesma forma, pela aparência ‘acabada’ ou ‘finalizada’ que empresta a ela”. A esse respeito também Steele (2001) se manifesta, citando que o uso das técnicas computacionais na representação de uma idéia, feita para um cliente, lhe pareça tão real quanto o edifício construído, com as entidades descritas e definidas com muito mais precisão, e dificultando a crítica mais isenta à proposta que está sendo apresentada. Nesse sentido, observa-se que na fase inicial do processo de projeto, de concepção, é preciso que os modelos utilizados sejam “permeáveis à mudança”, flexíveis e simplificados, pois quanto mais exato e descritivo for o modelo, menos alternativas ele encoraja.

Nesta fase, onde as tecnologias computacionais são utilizadas em paralelo com as ferramentas tradicionais, a elaboração de plantas em conjunto com o uso de modelo tridimensional digital permite uma análise mais rápida das possibilidades formais e construtivas da proposta. Assim, Vincent (2002, p.128) coloca que, embora o modelamento tridimensional não implique necessariamente em arquiteturas mais

ricas ou criativas, “ele surge como um facilitador das averiguações espaciais as quais são, tradicionalmente, resultado do binômio talento para raciocínio espacial e grande experiência e vivência arquitetônica”.

Verifica-se, então, um nível de interferência da ferramenta computacional no processo de projeto, mas que ainda é relativo, sendo esta ferramenta complementar às tecnologias tradicionais. Steele (2001) cita vários exemplos de escritórios ou empresas de arquitetura que trabalham mesclando os instrumentos tradicionais com as ferramentas computacionais, tais como: Behnisch, Behnisch and Partner; NBBJ Architecture; RoTo Architects; Norman Foster e seus associados; Cesar Pelli, dentre outros.

Dirigida por Stefan Behnisch, a empresa Behnisch, Behnisch and Partner exemplifica o uso das duas ferramentas, a tradicional e a computacional, com os projetos do North German State Clearing House Bank em Hannover na Alemanha, e do auditório de concertos Harbourside Centre em Bristol na Gran-Bretanha, onde foram usadas intensamente as maquetes, ficando o uso do **AutoCAD**⁵³ restrito às tarefas repetitivas e à sondagens técnicas tais como possibilidades estruturais e estudos de acústica, conforme Steele (2001, p.73). A figura 3.01 mostra uma foto de uma maquete para o Harbourside Centre de Bristol e na figura 3.02 pode ser vista a perspectiva de um modelo geométrico tridimensional feita para estudar a distribuição interna dos espaços do auditório de concertos do mesmo centro.

⁵³ O AutoCAD é um programa CAD genérico. Maiores detalhes sobre este programa podem ser encontrados no Anexo 1.

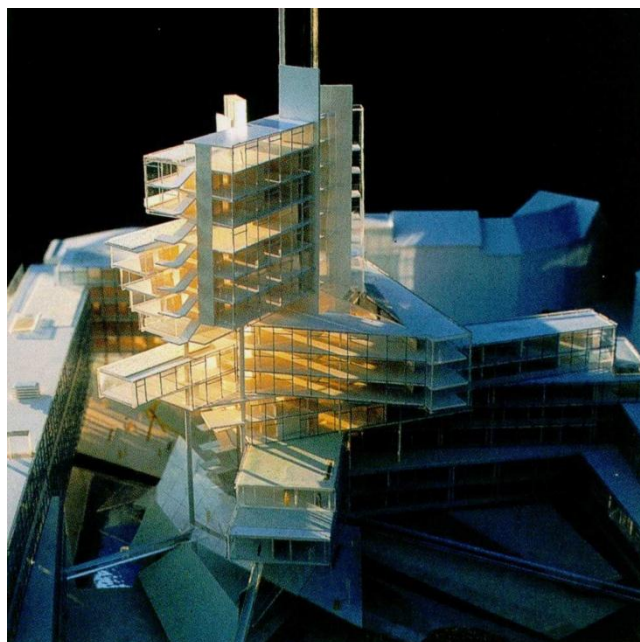


Figura 3.01: Harbourside Centre, em Bristol: maquete.⁵⁴

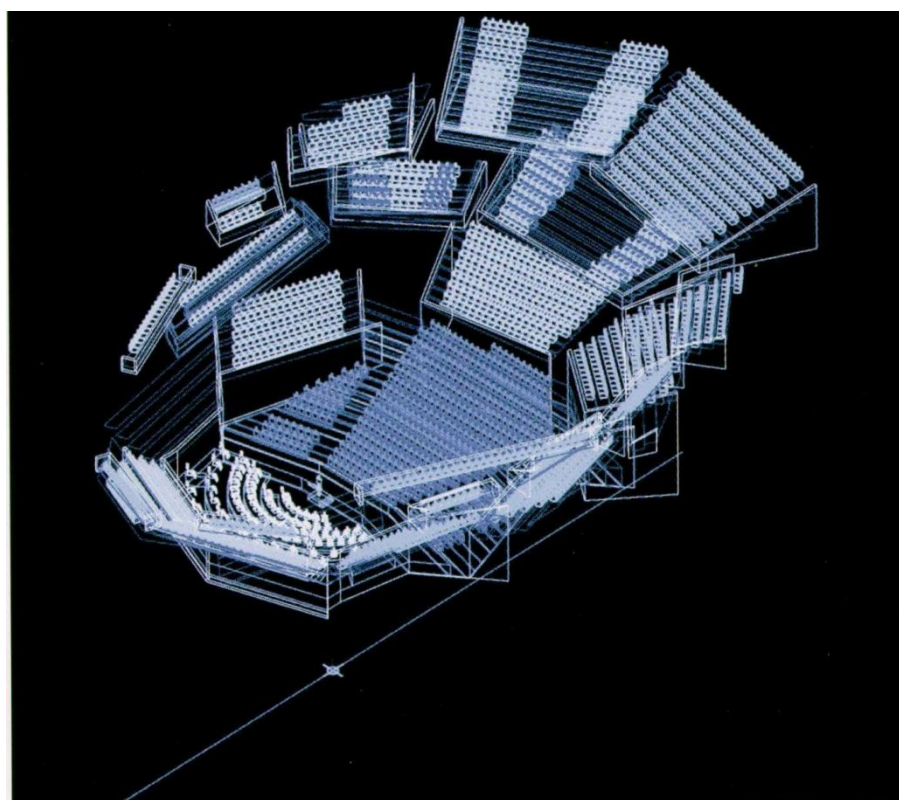


Figura 3.02: Harbourside Centre, em Bristol: perspectiva a partir do modelo tridimensional do auditório de concertos.⁵⁵

⁵⁴ Fonte: STEELE, J. *Arquitectura y Revolución Digital*. México: Ediciones G.Gilli, 2001, p 74.

⁵⁵ Fonte: STEELE, op.cit. p.76

Outra empresa de arquitetura citada, a NBBJ Architecture é, segundo Steele (2001) a quinta mais importante do mundo, com mais de oitocentos empregados e com 21 escritórios nos Estados Unidos e em outros países, e com projetos na América do Norte, do Sul, na Europa e na Ásia. De acordo com um de seus arquitetos, Jin Ah Park, seus projetos se desenvolvem em três momentos. No primeiro, que ele denomina de investigativo, as ferramentas computacionais através do *software Alias/Wavefront*, são usadas para gerar modelos geométricos tridimensionais que são utilizados no projeto de maquetes, que são fabricadas em fibra de vidro e resina, e cujo corte é feito a *laser*; num segundo momento, o de documentação, as representações axonométricas da(s) proposta(s) são feitas com o *software Microstation Triforma*; finalmente, no terceiro momento, o do desenvolvimento da proposta escolhida, o *Alias/Wavefront* permite que o construtor use os modelos geométricos tridimensionais para obter dados com mais precisão e eficácia. Observa-se, portanto que, no início do processo de projeto o uso das maquetes, principalmente como instrumentos de concepção, convive com as ferramentas computacionais que são mais usadas como instrumentos de tradução das idéias geradas. Nos momentos seguintes, as ferramentas computacionais são utilizadas principalmente para simulações e para geração de documentos do projeto, sendo portanto importantes como instrumentos para a validação das propostas. Os projetos citados como exemplo são o Graha Kuningan, uma torre de 50 pavimentos em Jacarta, na Indonésia; a Cúpula de Seul, um estádio de beisebol multifuncional projetado para o grupo LG, na Coréia; o Centro Urbano de Kwan Tong em Hong Kong; as oficinas centrais para a Telenor, em Oslo; e o Vulcan Northwest, uma torre de oficinas e comércio em Seattle⁵⁶.

Ainda segundo Steele (2001, p.87-90), o escritório RoTo é relativamente pequeno, e é dirigido por Michael Rotondi e Clark Stevens. No seu trabalho, utilizam um constante vai e vem entre as maquetes físicas e os modelos tridimensionais feitos em computador. No projeto de reurbanização da Hollywood-Orange em Los Angeles utilizou os programas **Power CAD** e **Form-Z**, mas apenas após o uso de diagramas e esboços tradicionais, onde as necessidades do cliente foram devidamente organizadas.

⁵⁶ Idem, p 77

Outro exemplo do uso de ferramentas computacionais associadas às técnicas tradicionais é dado por Steele (2001) ao comentar sobre o processo de projeto de Norman Foster e seus associados em alguns de seus recentes trabalhos. Cita o edifício da Greater London Authority, onde visando economia de energia optaram pelo uso da forma esférica que consegue melhor aproveitamento de espaço em menor área de superfície. Para isto, foram criados vários modelos em computador, na oficina londrina Ove Arup and Partner, onde a forma geométrica foi manipulada. O corte das placas de vidro que revestem o edifício foi feito a laser, usando dados provenientes dos mesmos programas de computador utilizados para projetar o edifício. Também cita o projeto do edifício para a Companhia de Seguros Swiss Reinsurance, de Zurique, cuja estrutura em diagonal foi testada a partir de modelos tridimensionais, bem como os painéis de vedação somente puderam ser devidamente projetados com a utilização de *software* originalmente projetados para indústria automotiva e aeroespacial⁵⁷ (Figuras 3.03 e 3.04).

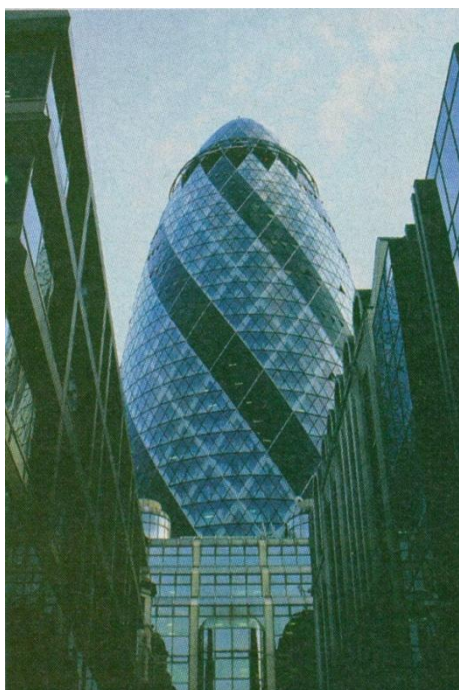


Figura 3.03: Swiss Re, em Londres. Arquitetos: Norman Foster e Associados.⁵⁸

⁵⁷ Informações extraídas de Steele, op. cit, p. 99-102, e do site <<http://www.fosterandpartners.com/internetsite/html/Project.asp?JobNo=1004#>>. Acesso em 29 jun. 2004

⁵⁸ Fonte: disponível em <<http://www.fosterandpartners.com/internetsite/html/Project.asp?JobNo=1004#>>. Acesso em 29 jun. 2004.



Figura 3.04: Swiss Re, em Londres: maquete de estudos.⁵⁹

Steele (2001) faz referência ao projeto de Cesar Pelli para as Torres Petronas, em Kuala Lumpur, na Malásia, como tendo sido elaborado num processo semelhante ao que Norman Foster utilizou no projeto do Edifício para a Swiss Reinsurance em Londres. No projeto das Torres Petronas, havia como premissa que a arquitetura tivesse um “caráter malásio”, e Pelli venceu o concurso por ter sido considerado que havia cumprido este requisito, tendo o computador tornado possível reinterpretar as decorações tradicionais islâmicas predominantes na cultura malásia, na geração formal das torres gêmeas. Pelli, (*apud* STEELE, 2001, p.111) assim descreve o partido adotado:

[...] A planta do edifício se baseia na geometria gerada por dois quadrados entrelaçados, talvez a forma mais comum dos desenhos islâmicos. Os quadrados entrelaçados criam uma estrela de oito pontas. A ela se superpõem oito semicírculos nos ângulos interiores da estrela, criando uma figura de dezesseis seções. Em cada um dos dezesseis ângulos interiores são dispostas formas semicirculares, menores, que contem as principais colunas do edifício. O desenvolvimento geométrico de uma forma simples para uma outra mais complexa corresponde também à tradição islâmica.

Nas figuras 3.05 e 3.06 podem ser vistos desenhos feitos em computador que mostram a interpretação de Pelli para as decorações tradicionais islâmicas como base para a construção do volume das Torres Petronas e a figura 3.07 mostra uma vista das torres, já construídas.

⁵⁹ Fonte: idem

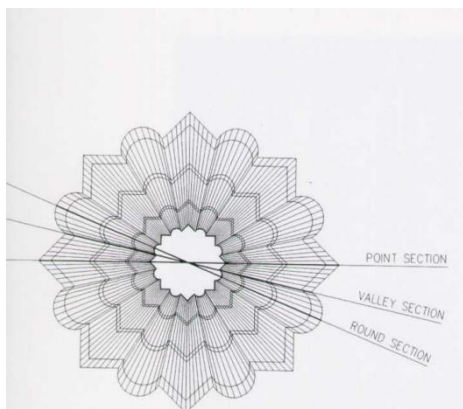


Figura 3.05: Torres Petronas: esquema utilizado na planta baixa. Arquiteto: César Pelli.⁶⁰

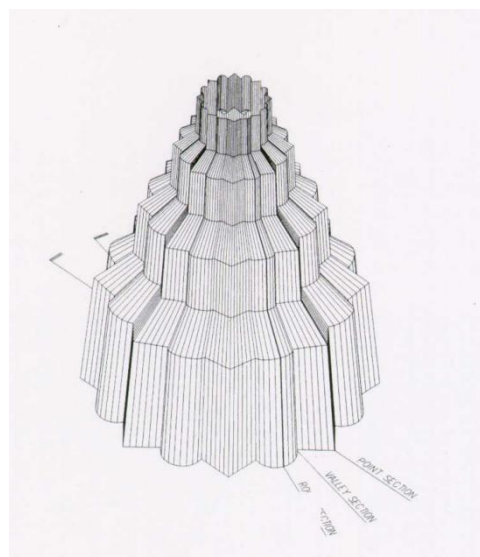


Figura 3.06: Torres Petronas: perspectiva esquemática de um trecho.⁶¹



Figura 3.07: Torres Petronas⁶²

Complementando este cenário híbrido, onde as ferramentas computacionais são usadas juntamente com as tradicionais, num processo de projeto que traz influências em diversos níveis da projeção, como decisões estruturais e de custos, que irão também influenciar nas decisões do aspecto formal, pode ser citado o processo de trabalho da equipe de Frank Gehry, que vem utilizando as ferramentas computacionais com a mesma intensidade que as maquetes físicas no

⁶⁰ Fonte: STEELE, op.cit. p. 111

⁶¹ idem, p 112

⁶² ibidem, p 112.

desenvolvimento de seus mais recentes projetos, como o Auditório Disney, em Los Angeles, e o Museu Guggenheim de Bilbao, na Espanha, sua mais conhecida obra. Para viabilizar as formas curvas e escultóricas criadas por Gehry, a sua equipe adaptou um *software* de uso da indústria aeroespacial, o **CATIA**, e que é utilizado em conjunto com outras ferramentas como o **AutoCAD**.

O escritório de arquitetura Frank Gehry & Associates Inc. tem mais de 60 profissionais que desenvolvem projetos em estações de trabalho informatizadas. Na época em que seus sócios começaram a adotar as ferramentas computacionais no escritório, houve muita resistência por parte de Gehry em aderir ao uso deste ferramental, que inicialmente foi utilizado para viabilizar as formas complexas por ele criadas, e que eram de difícil representação bidimensional com as ferramentas tradicionais. O fator principal para a adoção das ferramentas computacionais foi a afirmação dos construtores e fabricantes de que as formas por ele criadas eram construtivamente e economicamente inviáveis. Assim, ao perceber que a tecnologia CAD poderia reverter estas limitações, Gehry resolveu aderir à sua utilização. Souza (2000) cita Jim Glymph e Randy Jefferson, responsáveis pelo sistema de CAD da empresa, e pela adoção das ferramentas computacionais no processo de projeto, que colocam que o escritório começou pulando as etapas mais usuais neste processo que seriam a de utilizar inicialmente programas para representação e de animação que ajudam a transmitir as idéias para os clientes. O escritório de Gehry usou inicialmente as aplicações que ajudavam os fabricantes e contratantes a produzir seu trabalho de maneira mais eficiente e com menor custo, ou seja, ao invés de usar estas ferramentas apenas para visualização, usá-las como instrumento para tomadas de decisões projetuais e construtivas. Assim, desde o início observa-se que o escritório de Gehry assumiu uma posição de usar as ferramentas computacionais como instrumento de concepção do projeto e não apenas de tradução das idéias geradas.

Desde o início Gehry percebeu as possibilidades das ferramentas CAD na geração de formas, inclusive as mais complexas, proporcionando um auxílio que lhe permitia exercitar com mais facilidade seu lado artístico, pois as formas que concebia passaram a ser compreendidas por sua equipe. Através do seu uso, era possível um

domínio formal, técnico e econômico dos seus projetos, o que otimizava a sua execução em termos de tempo e de custos. A opção pelo **CATIA** foi feita após pesquisas de diversas ferramentas existentes no mercado, quando então a equipe de Gehry constatou algumas características neste programa que atendiam às necessidades do escritório, voltadas para as formas complexas. O **CATIA** é um programa que utiliza em seus algoritmos, equações polinomiais em vez de polígonos para descrição das formas, definindo superfícies onde as coordenadas de qualquer de seus pontos podem ser conhecidas. Originalmente um *software* para engenharia mecânica, a partir de adaptações para o uso em projeto de arquitetura tornou-se possível a execução de modelos de superfície e de sólidos, além de simulações e análises de aspectos formais e construtivos.

Entretanto, o uso do ferramental tradicional foi mantido em paralelo ao computacional. Segundo o próprio Gehry, em entrevista ao repórter Robert Ivy da Revista Architectural Record, em dezembro de 1998, seu processo de projeto começa com muitos esboços, do sítio e do partido, que vão sendo encaminhados para sua equipe construir as maquetes. Todo o processo é registrado diariamente, de maneira que, mesmo que ele modifique a maquete, através de cortes, subtrações, o que acontece com frequência, não há problema em retornar à algum estágio anterior. Por outro lado, o computador auxilia na construção dos modelos, na viabilização da forma e nos cálculos de custos, de materiais, bem como nas avaliações estruturais e de conforto térmico, lumínico e acústico. Entretanto Gehry faz questão de ressaltar que inicialmente ele trabalha através de esboços e seu estudo de volumetria é feito através de maquetes.

O uso de tecnologias computacionais, principalmente do **CATIA** no processo de projeto do escritório de Gehry, segundo Steele (2001), estaria encaixado no primeiro cenário, onde há uma predominância das ferramentas tradicionais, e as tecnologias computacionais não interfeririam no projeto. Mas, analisando o fato de que as maquetes e estudos feitos através dos computadores determinam alterações na proposta inicial e viabilizam muitas das idéias originais do projeto verifica-se que este se encaixa melhor no cenário híbrido, já que o suporte dado pelo **CATIA** é decisivo para que seus projetos sejam viabilizados e executados. No caso dos

exemplos citados, antes que este suporte fosse introduzido, tanto o Guggenheim como o Auditório Disney, tinham propostas consideradas inviáveis, econômica e construtivamente, e seriam provavelmente descartadas (BRUGEN, STEELE, 1997, 2001).

Referindo-se ao Auditório Disney, Steele (2001) coloca que a proposta formal de Gehry, por si só já desafiava os métodos de representação convencionais. Sua concepção inicial conferia ao auditório uma forma de leque, mas por orientação dos engenheiros de acústica, foi necessária uma mudança, que inicialmente implicaria numa forma próxima à de uma caixa de sapatos. Para suavizar estas linhas, Gehry criou então curvas envolvendo a sala de concertos, modificando assim a aparência externa do edifício. Estas superfícies curvas, que foram superpostas à sala de concerto, trouxeram dificuldades quando da transposição do modelo físico para as plantas de documentação, dificuldades estas que foram solucionadas através da digitalização da maquete com a utilização do **CATIA**. Assim, não só este *software* permitiu a produção da documentação necessária com precisão rigorosa, como também permitiu que as informações sobre as pedras que deveriam, inicialmente, recobrir o auditório, fossem enviadas para uma máquina de controle numérico, que então seria empregada para efetuar o referido corte. Posteriormente o revestimento externo foi alterado para painéis de aço inoxidável (Figuras 3.08, 3.09, 3.10).

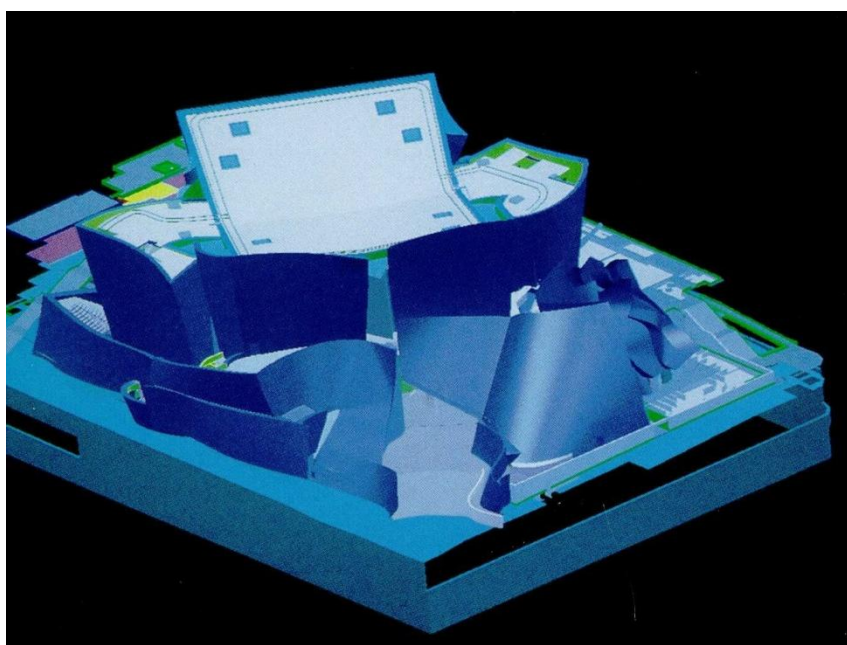


Figura 3.08: Auditório Disney: perspectiva a partir do modelo tridimensional. Arquiteto: Frank Gehry.⁶³

⁶³ Fonte: STEELE, op.cit, p. 123.



Figura 3.09: Auditório Disney: maquete.⁶⁴

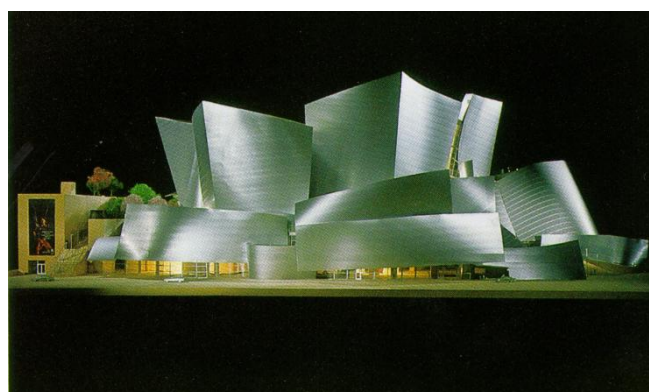


Figura 3.10: Auditório Disney: maquete da versão final.⁶⁵

O Museu Guggenheim de Bilbao foi objeto de um concurso lançado pelo estado Vasco, como uma das ações que objetivavam dar mais visibilidade à cidade de Bilbao, e deveria refletir uma tendência atual dos museus, que é a de ser um destino por si próprio, independente do que nele esteja exposto. Ou seja, o próprio edifício deve ser uma obra de arte, destinada a marcar a paisagem, a ser um monumento. Seguindo esta tendência podem ser citados os edifícios que abrigam o Museu de Niterói e o Novo Museu de Curitiba, de Oscar Niemeyer, o Museu das Ciências em Valencia de Santiago Calatrava e o Museu de Arte de Milwaukee, projetado por Eero Saarinen e recentemente ampliado a partir de um volume também projetado por Santiago Calatrava, e a Casa de Cultura (Kunsthaus) da cidade de Graz na Áustria, projetado por Peter Cook e Colin Fournier. As figuras 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 e 3.15, a seguir, correspondem aos museus citados e ilustram esta tendência de museus escultóricos.

⁶⁴ idem

⁶⁵ Fonte: Revista AU, nº 104. outubro/novembro 2002, São Paulo, Pini. p. 18.

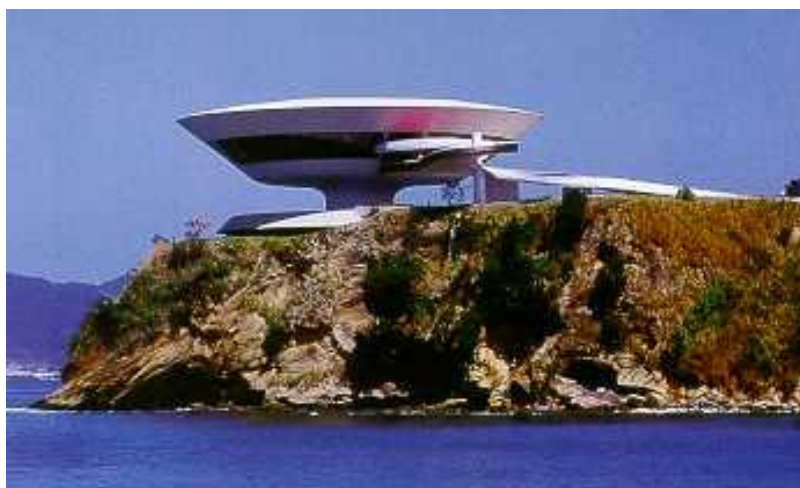


Figura 3.11: Museu de Niterói. Arquiteto: Oscar Niemeyer.⁶⁶



Figura 3.12: Novo Museu de Curitiba. Arquiteto: Oscar Niemeyer⁶⁷

⁶⁶ Fonte: Revista AU, nº 129, dezembro 2004, São Paulo, Pini, p. 42.

⁶⁷ Fonte: <<http://www.niemeyer.org.br/OscarNiemeyer/arquitetura3.htm>> Acesso em 06 fev. 2005.

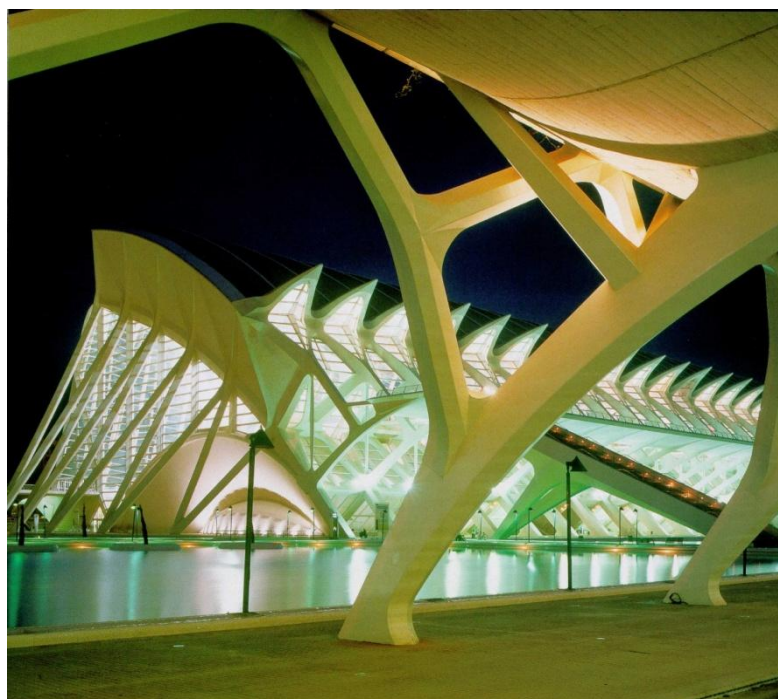


Figura 3.13: Museu de Ciências de Valencia. Arquiteto: Santiago Calatrava.⁶⁸

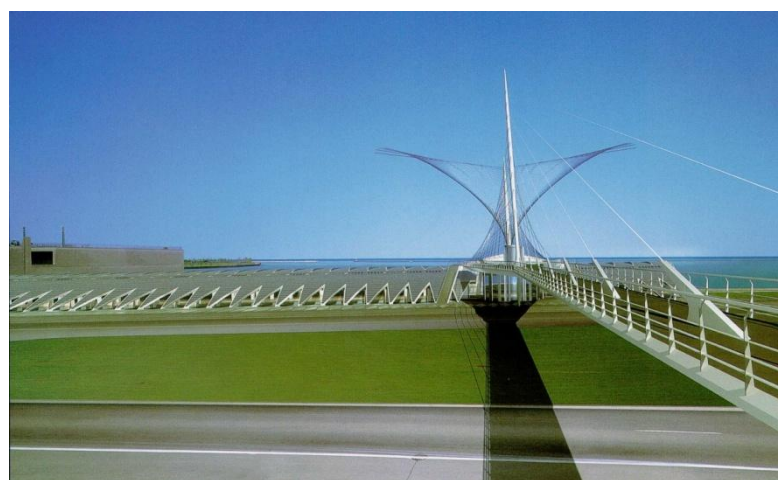


Figura 3.14: Ampliação do Museu de Arte de Milwaukee, projetada por Santiago Calatrava⁶⁹

⁶⁸ Fonte: JODIDIO, P. op.cit. p. 64.

⁶⁹ Fonte: JODIDIO, P. op. cit. p. 98.



Figura 3.15: Kunsthhaus (Casa de Cultura), em Graz. Projeto de Peter Cook e Colin Fournier⁷⁰

O objetivo foi alcançado, pois “graças ao Museu Guggenheim, Bilbao se converteu quase que instantaneamente em um dos focos de peregrinação do novo turismo cultural” (STEELE, 2001, p127). Este mesmo autor compara o Museu Guggenheim às catedrais do medievo, só que uma “catedral digital” que, por conta das tecnologias CAD, no caso do **CATIA**, dão ao arquiteto possibilidades formais que antes eram muito difíceis de serem conseguidas por qualquer projetista. A importância deste *software* para o escritório de Gehry vai além das possibilidades de manipulação e documentação de formas complexas, não convencionais, tornando possível sua construção. A utilização deste *software*, portanto das tecnologias computacionais, também proporcionou economia de tempo e meios, além de assegurar o uso eficaz dos materiais. No desenvolvimento do projeto do Museu Guggenheim, foram utilizadas quatro estações de trabalho IBM RISC System 6000 dotadas do **CATIA** Versão 4, do qual foram usados os seguintes módulos:

- Advanced Detail Design;
- Free Form Design;
- Publishing Package;
- Interface;
- Develop.

O modelo geométrico tridimensional viabilizado pelo **CATIA**, segundo Souza (2000, p.24), teve seu uso integrado à produção dos documentos, gerados a partir da geometria desse modelo, “que foi traduzida para o **AutoCAD** usando o padrão

⁷⁰ Fonte: SILVA, V. O Simpático Alienígena. Revista AU, São Paulo, Ano 19, 120, p. 35, mar. 2004.

IGES⁷¹, para o intercâmbio de dados computacionais entre plataformas variadas”. No processo de projeto do museu, os modelos físicos foram digitalizados através do equipamento *Multi-Axis Digitizer* que lia as coordenadas 3D dos pontos da maquete e tinha suas superfícies interpoladas pelo **CATIA**, a partir destes pontos, gerando assim sua geometria exata. A partir do modelo tridimensional a equipe de Glymph fazia as análises e simulações e sugeria as modificações que eram então trabalhadas por Gehry na maquete ficando, portanto, evidente o uso equilibrado entre os dois ferramentais, o tradicional e o computacional, no processo projetual deste escritório. A figura 3.16 traz uma foto do museu e a figura 3.17 uma tela de trabalho do **CATIA** contendo um modelo em *wireframe* do museu.



Figura 3.16: Museu Guggenheim, em Bilbao. Arquiteto: Frank Gehry.⁷²

⁷¹ IGES – *Initial Graphics Exchange Specification*, padrão para intercâmbio de arquivos gráficos vetoriais.

⁷² Fonte: disponível em: <www.bm30.es/homegug_es.html>. Acessado em 16 abr. 2004.

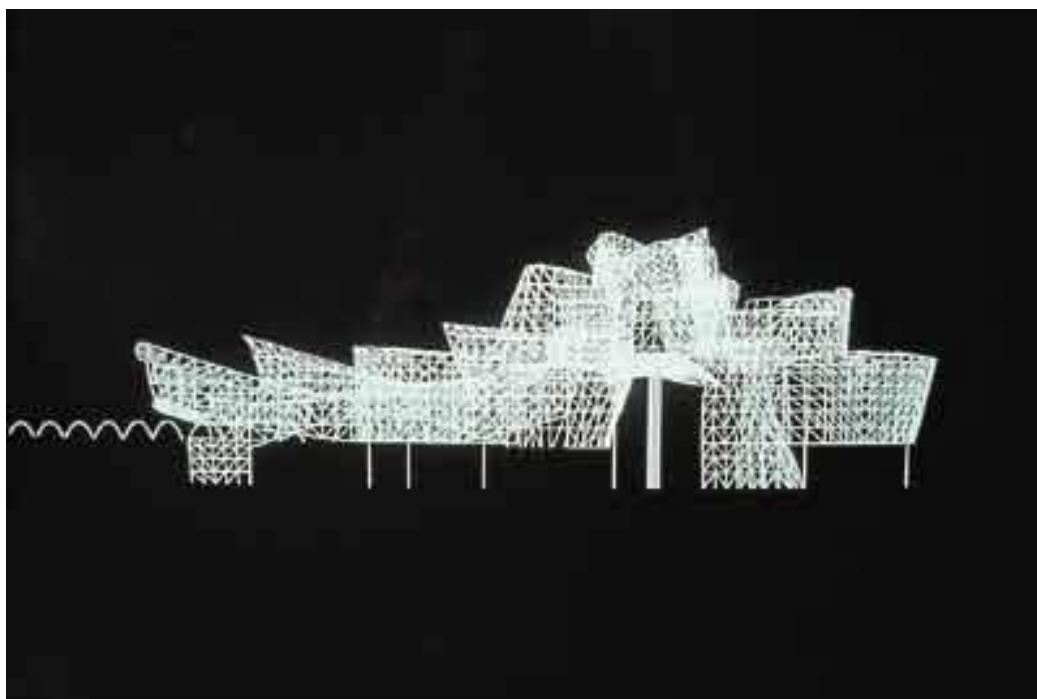


Figura 3.17: Museu Guggenheim, em Bilbao: modelo em *wireframe*, elaborado no CATIA.⁷³

Outro exemplo interessante de utilização das ferramentas computacionais para a produção de formas complexas, neste caso uma forma inusitada, já que tem um caráter eminentemente figurativo, uma escultura realmente. Trata-se do projeto de um templo budista na Índia, denominado Maitreya, e cujo edifício tem a forma externa de um Buda. Sua realização só foi possível graças ao uso de modernas técnicas de “escaneamento” e modelamento tridimensionais.

Além do templo, uma estátua com 152,4 metros de altura, o Complexo Maitreya incorpora templos públicos, um monastério, um convento, uma escola, uma universidade e um hospital de padrão internacional, em um parque com 16 hectares situado em Bodhgaya, na Índia, considerado um lugar sagrado para os budistas.

O edifício central tem como principal característica o fato de ser uma fusão entre escultura e arquitetura, já que se trata de uma estátua, onde funciona um templo religioso. Além disto, quando concluído, será a mais alta estátua do mundo e deverá ser erguida com materiais resistentes como bronze, mármore e granito, de forma a

⁷³ Fonte: BRUGGEN, Coosje V. *Frank Gehry. Museu Guggenheim Bilbao*. The Solomon R. Guggenheim Foundation, New York & FMGB Guggenheim Bilbao Museo, 1997.

possibilitar uma duração de pelo menos 1000 anos (Figura 3.18). Sua previsão de conclusão é em 2005.

O projeto foi desenvolvido a partir de uma estátua em escala reduzida, feita por uma artista plástica, Denise Griffin. A seguir o modelo foi escaneado, (Figura 3.19), o que foi feito com a utilização de um sistema ótico, que identifica diversos pontos sobre a estátua e a partir das coordenadas destes pontos, utilizando um programa desenvolvido pela companhia inglesa Delcam foi feita a conversão dos dados em uma superfície.

Segundo Derik Smart, responsável pelo desenvolvimento do projeto em CAD-CAM, a utilização deste sistema e não do sistema a *laser* se deveu ao fato de que, na época o primeiro era mais preciso, rápido e proporcionava mais dados. Foram obtidos com este processo de escaneamento mais de dois milhões de coordenadas 3D de pontos aos quais, foi ajustada uma superfície de malha triangular que constitui o modelo geométrico da volumetria, o que foi bastante trabalhoso, pois ao final foram contabilizadas milhares de superfícies para descrever todo o modelo (Figura 3.20).

A partir daí o projeto foi totalmente desenvolvido com ferramentas CAD, inclusive os cálculos estruturais e utilizando um *software* orientado para a indústria automotiva, mais adequado à modelagem de superfícies complexas.



Figura 3.18: Estátua do Maitreya Buddha, onde funcionará um Templo: perspectiva a partir do modelo tridimensional.⁷⁴

⁷⁴ Fonte: Ilustração disponível em <www.maitreya-project.org>, acesso em 29 jun. 2004.



Figura 3.19: Estátua do Maitreya Buddha: processo de digitalização.⁷⁵

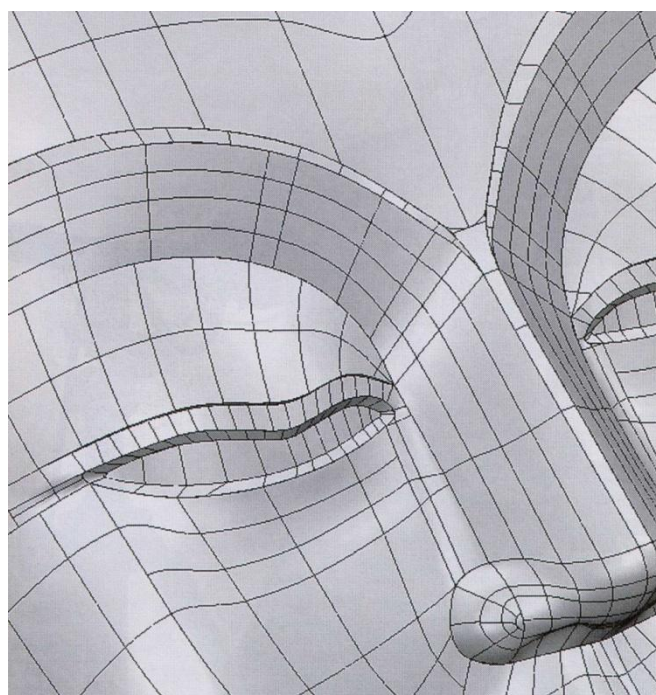


Figura 3.20: Estátua do Maitreya Buddha: detalhe do modelo digital.⁷⁶

⁷⁵ Fonte: Mandala Magazine. Maitreya Project. May/June, Taos/USA, 2001. p. 23.

⁷⁶ Fonte: Idem, p 24.

É interessante observar nos exemplos citados nesta fase, que corresponde à introdução do uso das ferramentas computacionais como instrumento auxiliar do processo de concepção, o resultado formal demonstra ter sido influenciado pelo uso deste ferramental, podendo todas elas serem classificadas como formas não convencionais. Em todos os projetos apresentados os arquitetos utilizaram as ferramentas de modelamento tridimensional e de simulação para validar suas idéias, originais e complexas em termos formais, as quais só puderam ser viabilizadas com o uso da tecnologia CAD, sendo esta condição explícita em alguns deles, como no caso de Gerhy, onde sua própria equipe faz esta declaração.

Assim, diante do apresentado, observa-se ser equivocada a inclusão feita por Steele dos trabalhos das empresas Behnish, Behnish and Partner, NBBJ Architecture, dos escritórios RoTo, de Norman Foster, César Pelli e Frank Gehry no primeiro cenário. Neste cenário (o primeiro), o computador é utilizado apenas como ferramenta complementar e, nos exemplos aqui expostos os processos de projeção vistos encaixam-se de maneira mais adequada ao cenário híbrido analógico/digital, onde existe um equilíbrio no uso das tecnologias tradicionais e computacionais.

3.3 O COMPUTADOR ROUBA A CENA

Nesta terceira fase são utilizadas as ferramentas CAD, com ênfase naquelas de simulação, bem como os programas de realidade virtual, onde o observador simula percorrer os espaços projetados, podendo inclusive interagir e visualizar o modelo de acordo com seus objetivos. São também desenvolvidos programas que objetivam a produção de formas a partir de um conjunto de dados que é fornecido pelo projetista.

Estas ferramentas tanto podem servir ao cenário classificado por Steele (2001) como híbrido, um misto equilibrado de tecnologias tradicionais e computacionais, como vem sendo usadas em experiências arquitetônicas onde o computador tem forte interferência no processo projetual. Este uso intensivo e qualificado da tecnologia computacional pode ser visto em recentes obras de diversos arquitetos, os quais trabalham novos conceitos de arquitetura, às quais denominam de

arquiteturas “genética”, “líquida”, “zoomórficas”, “*time-like architectures*”, onde o desenvolvimento da forma arquitetônica se dá através do processamento de dados que são fornecidos a um determinado *software* de animação e, em muitos casos, até a produção do edifício tem a participação da tecnologia computacional através da PR (Prototipagem Rápida) ou da utilização de máquinas CNC. Estes equipamentos trabalham controlados por dados provenientes das ferramentas CAD, constituindo o que se denomina sistema CAD/CAM, que produzem as peças que irão compor partes do edifício projetado, e acredita-se que no futuro, principalmente em se tratando de construções pré-fabricadas, de toda a edificação.

Exemplos destas arquiteturas foram apresentados recentemente em exposição já referida, denominada de “*Architectures Non Standard*” (Arquiteturas fora do padrão), em Paris, no Centro Georges Pompidou, onde puderam ser vistos projetos de diversos arquitetos que vem trabalhando com estes novos conceitos de arquitetura, entre os quais destacam-se Marcos Novak, Greg Lynn e Lars Spuybroek do grupo NOX⁷⁷, e Kars Oosterhuis.

3.3.1 Arquitetura Líquida

O arquiteto americano Marcos Novak apresenta uma nova tendência arquitetônica que ele denomina de “transarquitetura” ou “arquitetura líquida”. Segundo Eichemberg (2003), “Novak concebe a arquitetura líquida como uma condição arquitetônica possibilitada pela mutabilidade das formas e superfícies geradas por sistemas de algoritmos, o que permite uma transformação e uma atuação processual contínuas num espaço interativo em desenvolvimento” (EICHEMBERG, 2003, p. 75). Desta tendência arquitetônica faz parte o grupo NOX, dirigido pelo arquiteto holandês Lars Spuybroek, que produz além de arquitetura, interiores, objetos, instalações multimidiáticas, vídeos e textos diversos. Este grupo tem criado estruturas e formas experimentais as quais não tem configurações geométricas ortogonais estáticas. São espaços constituídos a partir de superfícies envoltórias, maleáveis, fluidas e envolventes, e onde é difícil fazer uma distinção entre pisos,

⁷⁷ O “NOX Design Office” é um escritório de arquitetura holandês, dirigido pelo arquiteto Lars Spuybroek.

paredes e tetos, já que estes não são elementos distintos, mas sim a continuação um do outro (SILVA, 2004).

O H2O Pavilion (Pavilhão da Água), na Holanda, é um exemplo de arquitetura concebida segundo este conceito. O espaço foi planejado pelo grupo NOX e pelo escritório de arquitetura Oosterhuis Associates, no final dos anos 90, para alojar uma exposição permanente sobre a importância da água no nosso planeta. Foram projetados dois espaços distintos, mas interligados: o Pavilhão da Água Doce e o Pavilhão da Água Salgada. Ambos de geometria complexa, segundo Silva (2004) o primeiro tem uma volumetria disforme, alongada e fluida e tem em seu exterior um revestimento metálico, prateado e brilhante. Já o Pavilhão da Água Salgada tem um volume de forma precisa e angular e possui no exterior um revestimento sintético, emborrachado, preto e fosco. O Pavilhão da Água Doce, projetado por Lars Spuybroek do NOX, tem seu espaço envolvido por superfícies fluidas e maleáveis e alguns dos seus elementos, como o piso, são feitos de uma tela vazada que se movimenta assim que é tocada pelos visitantes. Do mesmo modo, alavancas, tomadas e sensores são acionados pelo toque das mãos, pés ou simplesmente pela aproximação física dos visitantes que, ao se movimentarem alteram o comportamento do espaço que, ao reagir a estes movimentos e ações, se anima. O Pavilhão da Água Salgada planejado pela equipe de Kars Oosterhuis, possui dois pavimentos. O pavimento inferior lembra uma caverna, molhado e escuro e o superior tem um piso curvo suspenso e móvel. Este piso, ao se movimentar faz com que as demais superfícies que envolvem o espaço também se movimentem, característica da “arquitetura líquida”. Todo o projeto foi desenvolvido com base na tecnologia computacional, inclusive no que diz respeito aos recursos que propiciam a interatividade entre o espaço e os visitantes (Figuras 3.21 a 3.24).



Figura 3.21: Pavilhão da Água Doce: interior. Projeto: Grupo NOX.⁷⁸

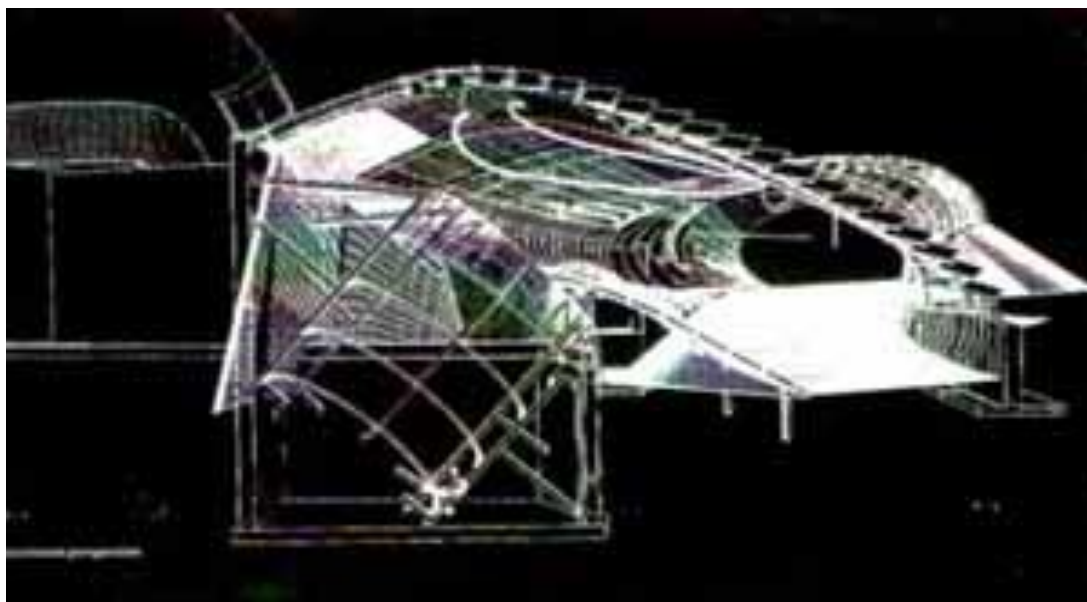


Figura 3.22: Pavilhão de Água Doce: corte.⁷⁹

⁷⁸ Arquiteto: Lars Spuybroek. Disponível em http://www.classic.archined.nl/news/9704/zoutpavil_eng.html. Acesso em 06 fev. 2005.

⁷⁹ Arquiteto: Lars Spuybroek. Fonte: Kretli, Marcos. Disponível em: www.vitruvius.com.br/arquitextos/arg000/esp222.asp. Acesso em 10 mar. 2004.



Figura 3.23: Pavilhão de Água Doce: exterior.⁸⁰



Figura 3.24: Pavilhão da Água Salgada: exterior. Projeto: Kars Oosterhuis.⁸¹

3.3.2 Time-like Architecture

Conceito semelhante ao da “arquitetura líquida” é o da “*Time-like Architecture*” que, conforme Nardeli (2004, p.64), é a expressão usada pelo arquiteto indiano Mahesh Senagala, da Universidade de San Antonio, no Texas, Estados Unidos, para definir uma nova tendência de produções arquitetônicas “capazes de se mover, flexionar e se reconfigurar a partir de uma rede de sensores à qual estaria conectada, atualizando permanentemente a sua forma em função dos estímulos externos detectados por esses sensores”. Desta maneira, para Senagala (*apud* NARDELI, 2004, p.65), estaria incorporada a dimensão tempo que pode ser tão importante quanto as outras três tradicionais, como diretriz para os projetos arquitetônicos. Senagala propõe, em síntese, uma espécie de bio-arquitetura onde a organicidade dos edifícios não seja expressa apenas por sua forma exterior, mas também por seu

⁸⁰ Fonte: Disponível em <<http://www.ds.arc.tue.nl/Education/Courses/7M690/About7m690.htm>> Acesso em 06 fev. 2005.

⁸¹ Idem

comportamento, tal como seres vivos, que reagem “sensitivamente às variações do meio ambiente por meio de recursos digitais”.

3.3.3 Arquitetura Genética

O termo “Arquitetura Genética” foi criado pelo grupo de pesquisa ligado ao Taller de Arquitectura Digital, da ESARQ (Escola Técnica Superior d’Arquitectura) da UIC – Universitat Internacional de Catalunya, em Barcelona, que tem realizado diversos experimentos nesta área.

Este grupo sugere o uso do computador na geração de novas arquiteturas, não apenas no sentido da configuração formal, mas também no que diz respeito aos materiais e técnicas construtivas a serem utilizados. Assim, acreditam que as novas tecnologias propiciam uma revolução na arquitetura, preconizando o início da “construção genética do futuro, organicizante, viva, de carne e osso” (ESTEVEZ, 2004). Propõem um novo projetar ecológico, meio-ambiental e um novo projetar cibernético-digital, sendo que o primeiro não deve ser confundido com aquele que cria como a natureza a conservar, mas sim um projetar que “cria” a própria natureza, e acreditando que agora se pode inventar uma nova natureza a cada dia.

Desta forma desenvolvem pesquisas no laboratório da ESARQ, utilizando não só ferramentas de auxílio ao projeto, mas, máquinas de CNC, o que lhes permite conectar o projeto e a construção, trabalhando com a tecnologia CAD/CAM. Alguns de seus experimentos podem ser vistos nas figuras 3.25 e 3.26.



Figura 3.25. Elemento arquitetônico de uma pérgola em madeira realizada na ESARQ com máquina CNC, José Noel del Toro, Barcelona, 2002 - (foto: A. T. Estévez)

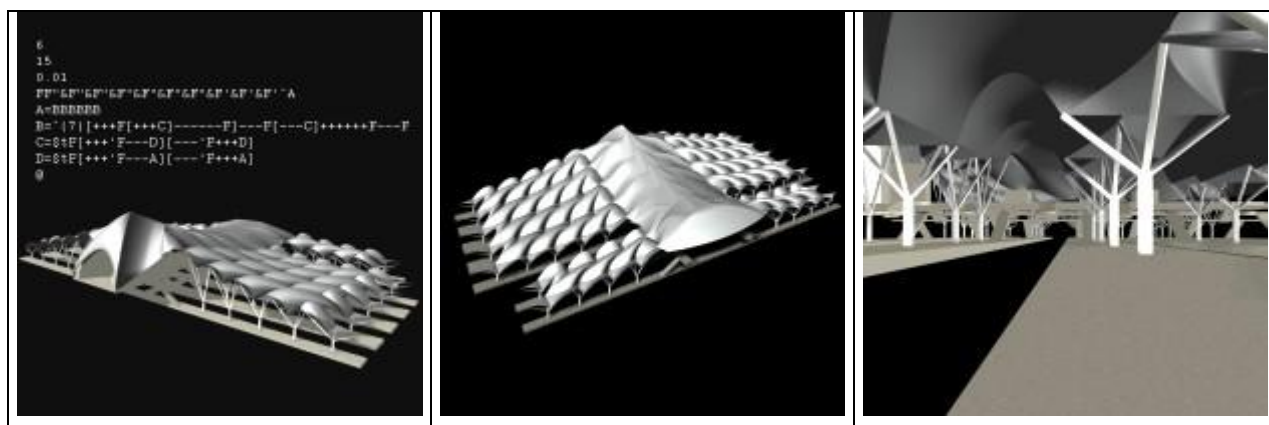


Figura 3.26: Estação de Trens La Sagrera, em Barcelona, projetada com o auxílio do L-System e do Rhino. Projeto para uma estação de trens de alta velocidade em Barcelona, realizado pelos alunos do estúdio de Karl Chu, na ESARQ. A forma da cobertura é determinada por um complexo sistema genético desenvolvido com o L-System, que responde diretamente à distribuição espacial que o programa arquitetônico requer.⁸²

3.3.4 Animate Form

Uma mistura da arquitetura líquida com a genética, esta proposta de criar formas a partir de *software* de animação⁸³ tem sido objeto de pesquisas do arquiteto Greg Lynn. Um de seus projetos mais ilustrativos desta concepção arquitetônica é o *Embryological House* (Casa Embrião). Segundo Heidrich e Pereira (2003) este

⁸² Fonte: disponível em <www.única.edu/esarq/geneticarq>. Acesso em 10 mar. 2004.

⁸³ Esta informação está disponível no *site* <www.glforn.com> cujo responsável é o próprio arquiteto Greg Lynn, não sendo possível saber se os *software* aos quais se refere são apenas de animação ou se também de modelagem.

projeto pode ser descrito como um exemplo de projeto na era da genética, e é pensado a partir de um contexto biológico onde qualquer mudança em um de seus componentes implica numa mudança em todo o sistema. Assim, ele parte de uma forma aproximadamente esférica e simétrica, e usa um *software* para, através da inserção de dados, desenvolver regras que irão quebrar esta simetria, gerando imensas possibilidades de mutação e, portanto, de formas. O projeto inicial se baseia no funcionamento de uma casa, que seria então a semente, o embrião, e as mutações corresponderiam à personalização do projeto geradas a partir de informações provenientes da necessidade do cliente e de decisões do arquiteto (Figuras 3.27 e 3.28).

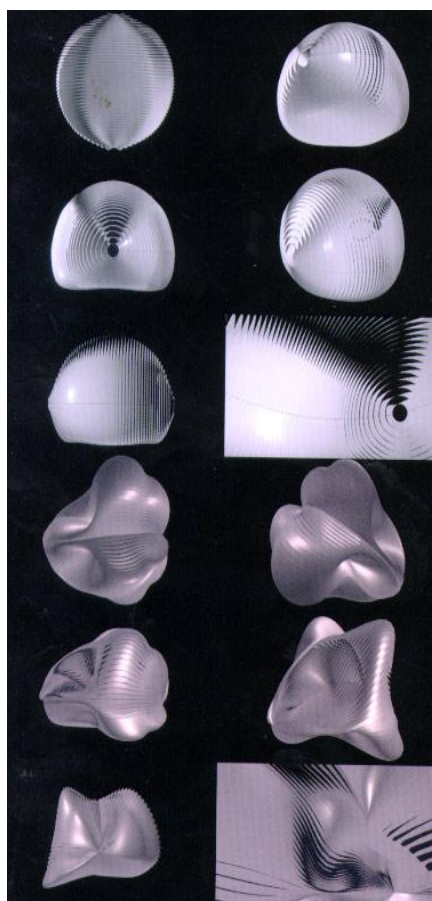


Figura 3.27: Embryological House: desenvolvimento.⁸⁴

⁸⁴ Fonte: disponível em: <www.giform.com>. Acesso em 10 jan. 2005.



Figura 3.28: Embryological House: maquete.⁸⁵

Em qualquer dos três cenários, entretanto, é importante observar que o computador apenas manipula informações e conteúdos fornecidos pelo projetista, que é portanto, indispensável. Sem o aporte de informações dadas inicialmente pelo projetista, o computador não inicia sozinho o processo de projeção, aleatoriamente. É preciso que o projetista defina quais as informações são importantes e necessárias para o desenvolvimento do processo, e essas são então tratadas pelo computador. Isso se aplica inclusive ao cenário onde Steele pressupõe que o computador assume o comando dos experimentos arquitetônicos, já que o início do processo depende de escolhas, de decisões sobre quais dados devem ser inseridos no programa, para que então, a partir daí, este assuma o controle do processo.

⁸⁵ Fonte: disponível em: <www.giform.com>. Acesso em 10 jan. 2005.

4. UM OLHAR SOBRE A PRODUÇÃO DOS ALUNOS DA FAUFBa.

O capítulo anterior analisou a utilização das ferramentas computacionais no processo de produção da forma por parte de arquitetos de renome mundial, com ênfase em obras com formas não convencionais. Neste capítulo, será feita uma análise semelhante, mas relativa aos trabalhos produzidos por alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo da FAUFBa, no intuito de verificar como está se dando, por parte dos discentes, a apropriação do ferramental computacional neste particular aspecto da projeção.

Os trabalhos também serão analisados frente às fases estabelecidas no capítulo anterior, com relação ao uso da ferramenta:

- se apenas como ferramenta de tradução das idéias projetuais, ou seja, apenas como instrumento de representação para a documentação do projeto e onde existe um predomínio das tecnologias tradicionais;
- se utilizando o ferramental computacional, com a introdução da modelagem tridimensional seguida pelos programas de simulação, mesclado ao uso de instrumentos tradicionais de projeção como as maquetes;
- se como principal instrumento de concepção formal do projeto.

4.1 SOBRE A ABORDAGEM

A primeira experiência de oferta de disciplina enfocando o estudo da informática aplicada à arquitetura na Faculdade de Arquitetura da UFBA data de 1992, quando o Departamento da Criação e Representação Gráfica, através do LCAD⁸⁶ ofereceu a disciplina optativa ARQ 136 – Computação Gráfica Aplicada, com conteúdos voltados para a aplicação da tecnologia CAD através do emprego de programas especializados, como editores de desenho, e modeladores tridimensionais. A esta disciplina seguiu-se logo a ARQ 137 – Introdução à Computação Gráfica que tratava, no seu enfoque teórico e conceitual, de fundamentos da Computação Gráfica

A partir de 1995, foi dado início à implantação de um novo currículo para o curso de Arquitetura e Urbanismo da FAUFBA e, com relação às disciplinas de projeto, estas foram reestruturadas e passaram a ser ministradas em ateliês anuais, onde além de metodologia de projeto também são trabalhados dentre outros os conteúdos de Representação Gráfica. Na mesma época, atendendo à Portaria 1770 de 21 de dezembro de 1994 do Ministério da Educação, que dispunha sobre um novo currículo para os cursos de arquitetura e urbanismo em todo o país, as disciplinas de Informática inicialmente oferecidas, e que tinham caráter optativo, foram reformuladas. Foram então criadas das disciplinas obrigatórias “Informática Aplicada à Arquitetura I” e “Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo II”. Também foi oferecida aos alunos uma “Sala de Usuários”⁸⁷ onde poderiam realizar seus exercícios projetuais com auxílio de computadores, muito embora na época da conclusão deste trabalho (maio de 2005), apenas duas máquinas estivessem em funcionamento, o que é muito pouco para um universo de mais ou menos 700 (setecentos) alunos de graduação.

⁸⁶ Laboratório de Computação Gráfica Aplicada à Arquitetura e ao Desenho, criado em 1991 e implantado em janeiro de 1992, é vinculado ao Departamento da Criação e Representação Gráfica da FAUFBA.

⁸⁷ A “Sala de Usuários” é uma sala para uso exclusivo dos alunos equipada com computadores e programas adequados a elaboração dos trabalhos do curso, contando inclusive com acesso à Internet.

A matéria “Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo”, segundo a referida Portaria, “abrange os sistemas de tratamento da informação e representação do objeto aplicados à Arquitetura e ao Urbanismo, implementando a utilização do instrumental da informática no cotidiano do aprendiz”. Na FAUFBa, as disciplinas resultantes de seu desdobramento, têm as seguintes características:

- Informática Aplicada à Arquitetura e ao Urbanismo I: disciplina de currículo mínimo, portanto obrigatória, com 60 horas semestrais de carga horária, e em cuja ementa é definida como “tecnologia de computação para utilização de editores de desenho aplicados ao processo de projetar em Arquitetura e Urbanismo”. No seu conteúdo programático, são estudadas características gerais de *hardware* e *software*, sendo explorado como ferramenta o **AutoCAD**. No fluxograma localiza-se no terceiro semestre, não tendo pré-requisitos. É pré-requisito apenas para “Informática Aplicada a Arquitetura e Urbanismo II”.
- Informática Aplicada à Arquitetura e ao Urbanismo II: também disciplina de currículo mínimo, obrigatória, com 60 horas semestrais de carga horária, e definida na ementa como “tecnologias de computação para utilização de modeladores tridimensionais aplicados ao processo de projetar em Arquitetura e Urbanismo e as técnicas de ‘renderização’”. Situada no curso no quinto semestre do fluxograma, não é pré-requisito para nenhuma outra disciplina.

Assim, os alunos são introduzidos aos conhecimentos da informática aplicada à arquitetura no segundo e terceiro anos do curso, aliado ao fato de que os mesmos, por conta própria, em cursos fora da Faculdade ou até como autodidatas, desenvolvem o aprendizado de programas de auxílio ao projeto, por uma necessidade pessoal de atualização tecnológica, por modismo e também pela curiosidade que as próprias máquinas e as facilidades oferecidas pelos computadores trazem.

Neste contexto, surge a questão: como fica a produção da forma dos objetos arquitetônicos, dos alunos da FAUFBa, após a inserção do auxílio do computador às atividades de projeto? Os alunos têm utilizado esta ferramenta nas suas atividades

de projeto? O computador tem sido utilizado como ferramenta de criação, de representação, nos dois níveis ou, até mesmo, em nenhum deles? Com a utilização do ferramental computacional, quais os reflexos deste uso nas formas dos objetos arquitetônicos propostos pelos estudantes?

Assim, foram levantadas e pesquisadas questões relacionadas à inserção deste instrumental nas disciplinas/atividades de projeto e seu reatamento na produção da forma do objeto arquitetônico, através de:

- entrevistas com alguns professores de projeto com o objetivo de verificar a percepção destes sobre a questão em foco;
- entrevistas e acompanhamento dos trabalhos de alunos de Ateliê III e IV, e análises dos Trabalhos Finais de Graduação (TFG) apresentados ao longo dos anos de 2000 a 2004; e
- pesquisas para resgatar trabalhos elaborados em ateliê em semestres anteriores e que tivessem propostas formais não convencionais.

Cumpramos esclarecer que foram escolhidos os Ateliês III e IV pelo fato de serem ateliês de projeto de arquitetura e que a esta altura do curso os alunos, teoricamente, já cursaram as disciplinas de Informática Aplicada.

Neste sentido, foram definidos que, com relação ao TFG, todos os trabalhos arquivados seriam examinados; e, com relação ao ateliê, foi determinada uma amostragem que consistiu de três turmas de Ateliê III e uma turma de Ateliê IV, de um total de 04 (quatro) turmas do primeiro e 04 (quatro) turmas do segundo. A predominância do Ateliê III se deu pelo fato de que neste ateliê o enfoque é o edifício, embora o entorno também seja trabalhado, mas não como objeto principal, e já no Ateliê IV o enfoque principal é a questão do espaço urbano, embora também o edifício seja objeto de trabalho.

4.2 PERCEPÇÃO DOS DOCENTES DA FAUFBA NO MOMENTO ATUAL

Ao final de 2004 e início de 2005 alguns docentes, responsáveis pelos ateliês pesquisados, no caso três turmas de Ateliê III e uma turma de Ateliê IV, foram

procurados para exporem suas percepções sobre a utilização das ferramentas computacionais nos exercícios projetuais dos seus alunos. Foi aplicada a entrevista do tipo “não-estruturada”, onde as perguntas são abertas e podem ser respondidas dentro de uma conversação informal, na modalidade “focalizada”, na qual, segundo Lakatos & Marconi, “há um roteiro de tópicos relativos ao problema que se vai estudar e o entrevistador tem liberdade de fazer as perguntas que quiser [...] não obedecendo, a rigor, a uma estrutura formal” (LAKATOS & MARCONI, 1991, p. 197).

As questões apresentadas aos docentes foram basicamente as seguintes:

1. As ferramentas CAD são utilizadas pelos alunos na fase de:
 - a. concepção e desenvolvimento do projeto;
 - b. apresentação e documentação do projeto;
 - c. ambas;
 - d. não são utilizadas.
2. No caso de serem utilizadas, é possível notar alguma mudança quanto à geração formal? É possível quantificar e qualificar esta mudança?
3. No ateliê sob sua responsabilidade há alguma orientação no sentido de estimular os alunos no uso do ferramental computacional? Caso exista este estímulo, ele se dá no uso do instrumental como ferramenta de projeto ou apenas de representação?
4. Qual a sua percepção quanto à inserção das ferramentas CAD no processo de projeto?

Através das respostas, pode-se constatar que a maioria dos docentes reconhece que o uso das ferramentas CAD como instrumento de representação do projeto é inevitável, dele se utilizando praticamente todos os alunos em especial nas apresentações finais. Em que pese o fato de muitos dos docentes exigirem que os alunos trabalhem na fase de concepção e desenvolvimento do projeto com maquetes e croquis, quase todos verificam que os alunos, após a definição inicial do projeto, via de regra transpõem a proposta para o computador.

Algumas entrevistas foram feitas antes que os alunos tivessem apresentado suas propostas iniciais, e houve docente que colocou que seus alunos não trabalhavam

de forma alguma com computador, a não ser para visualização de fotos do local onde seria desenvolvida a proposta, sendo inclusive desestimulados quanto ao uso do ferramental computacional na fase inicial do projeto, por considerar ele, o docente, que os alunos necessitavam dominar mais o desenho à mão livre, o croquis, o que não iria acontecer caso houvesse a inserção do CAD nesta fase. Entretanto, logo nas primeiras apresentações de seus alunos, verificou-se que praticamente todos, apesar de terem iniciado o projeto por croquis e tivessem construído maquetes, assim que concluíam por alguma proposta em termos de plantas e cortes, transpunham estes desenhos para o computador, apresentando então suas propostas impressas.

O que pode ser observado é que todos os docentes identificaram, então, um uso do ferramental CAD apenas como instrumento de representação e não como ferramenta de concepção e validação das propostas.

No que diz respeito à geração formal, a maioria não acredita que tenha havido alguma mudança nas propostas apresentadas até então. De uma maneira geral, consideram que tem havido algumas propostas com formas mais complexas, mas que isto se deve muito mais à inventividade do aluno do que ao instrumental utilizado. Entretanto houve docente que identificou mudanças substanciais nas propostas apresentadas nos últimos anos, mas que considera resultado da utilização de maquetes e não do ferramental computacional, que ele também observa somente ser utilizado como representação e não na fase de concepção e desenvolvimento.

A maioria dos docentes entrevistados não estimula os alunos no uso das ferramentas CAD como instrumento projetual, quase sempre por desconhecer as potencialidades deste ferramental e, em muitos casos até de não saber utilizá-lo. Mesmo aqueles que na sua prática profissional apresentam seus trabalhos em CAD, empregam outros profissionais que são encarregados da elaboração de seus desenhos e, mais importante, usam esta ferramenta apenas como instrumento de para a confecção dos desenhos técnicos.

Quanto à percepção que cada um tem no que diz respeito à inserção das ferramentas CAD no processo projetual, as opiniões são várias e convergem em alguns pontos. No geral, ficou evidenciado, como já foi colocado anteriormente, que além de não serem usuários pessoais das ferramentas CAD há um desconhecimento a respeito de suas características e potencialidades enquanto instrumento de projeção. A grande maioria dos entrevistados é de uma geração que foi formada com o instrumental tradicional, e dele vem fazendo uso sem que tenham notado qualquer prejuízo em sua atuação profissional, e mesmo aqueles que modernizaram seus escritórios com as ferramentas CAD, delegam à outros a tarefa de delas fazerem uso, apenas para desenhos de apresentação e documentação, como também já foi colocado.

Com relação às desvantagens, um ponto de convergência é a crítica às limitações de visualização que a tela do computador provoca. Mesmo que se trabalhe com monitores maiores, ainda assim, o espaço é inferior ao de algumas pranchetas nas quais é possível a leitura de pranchas inteiras, em escalas mais confortáveis ao olho humano, inclusive as pranchas em formato A0. O problema da limitação de tela, que impõe o uso do recurso do zoom para a visualização de detalhes, perdendo-se então a visão do todo, é citado pela maioria como sendo um limitador no desenvolvimento do projeto, dificultando a crítica da proposta, necessária no processo projetual.

Ainda como crítica, foi colocado por um docente a sua dificuldade em analisar as propostas dos alunos apresentadas em pranchas plotadas em papel opaco (embora a plotagem possa ser feita em papel transparente), ou seja, sente falta da transparência do papel manteiga onde várias pranchas podem ser superpostas e analisadas concomitantemente. Com relação à esta crítica observa-se que esta dificuldade existe pelo fato de se tentar transpor métodos de trabalho empregados quando se utilizam ferramentas tradicionais, ao trabalho realizado com o ferramental computacional. O emprego das ferramentas computacionais de auxílio ao projeto requer uma nova maneira de pensar o projeto e, portanto, métodos diferentes de trabalho, apropriados às suas características e dinâmica.

Outra questão colocada por vários dos entrevistados é com relação ao uso dos “blocos”⁸⁸, característicos das ferramentas CAD, e que são utilizados com frequência pelos estudantes e que, quando mal utilizados, prejudicam, por várias razões, como a de tornarem os projetos muito uniformes, sem identidade própria, além de que as vezes “aparecerem” no *layout* dos espaços, sem que haja um estudo prévio inclusive quanto à escala, para que seja adaptada à prancha que está sendo elaborada no momento, criando uma situação esdrúxula em que os blocos estão em uma escala e o restante do desenho em outra.

Também foi destacada por um docente a questão de que os desenhos feitos em computador têm sempre uma aparência de “acabados”, “finalizados”, por conta inclusive de sua precisão, sendo por isso “fechados” de certa forma, prejudicando tanto o diálogo como a crítica, não só com quem o está analisando, mas como também com o próprio projetista, impedindo uma fluidez no processo de projeto, em especial na etapa de validação da proposta, na qual existe a necessidade da crítica e a retroalimentação.

Alguns docentes destacaram que o domínio da ferramenta é importante para determinar o seu grau de influência no desenvolvimento do projeto. Um dos docentes destacou que os programas trabalhados nas disciplinas de informática nem sempre são os mais adequados para a criação e para a validação das propostas. Mais explicitamente, considera que os programas dedicados e de modelagem tridimensional é que deveriam ser priorizados nestas disciplinas, ao invés de programas genéricos como o **AutoCAD**, e que na disciplina Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo I só são trabalhados os comandos 2D, quando considera que o mais importante para o processo projetual é a modelagem tridimensional, que só é trabalhada na disciplina de Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo II. Como esta disciplina não é pré-requisito para nenhuma outra, muitos alunos chegam ao Ateliê III sem que ainda a tenham cursado.

⁸⁸ Blocos são entidades especiais constituídas de outras entidades mais simples que são agrupadas e passam a constituir um único elemento. O bloco pode conter além das entidades gráficas, propriedades características que são denominadas de atributos. Pode-se inserir um bloco num desenho quantas vezes forem necessárias. In: CARNEIRO, A.; CHECCUCCI E. de S. Novas Tecnologias X Novas Metodologias de Trabalho – Adequação ao Projeto Auxiliado por Computador. Vol. I: Artigos Técnicos. Salvador, FAUFBa, 1996. Xerox.

O único ponto específico considerado positivo no que diz respeito à utilização das ferramentas CAD no processo projetual, e levantado por apenas um docente, foi que as ferramentas CAD são um facilitador no trabalho com curvas, inclusive na sua composição com retas, o que pode favorecer ao estudante na proposição de formas curvas.

Entretanto, vários colocaram que reconhecem que a utilização deste ferramental como auxílio ao projeto precisa ser mais discutida entre os docentes, principalmente os de projeto. Como já foi dito, enquanto ferramenta de desenho, seu uso por parte dos alunos já é uma realidade, mas enquanto ferramenta de concepção e validação das propostas, há a necessidade de que os docentes conheçam melhor este ferramental para que possam inseri-los nas suas atividades didáticas. Reconhecem inclusive que estas ferramentas implicam em novas formas de pensar o projeto, sendo, portanto, necessárias discussões neste sentido e que poderão até provocar uma reformulação nos conteúdos programáticos dos ateliês.

4.3 TRABALHOS ACADÊMICOS – ATELIÊS E TFG

Com relação aos ateliês, disciplinas onde são realizados os trabalhos de projeto, as suas ementas podem caracterizá-los quanto às suas respectivas abrangências. A ementa de uma disciplina é um sumário conciso da mesma, e que tem aprovação do Departamento ao qual ela está vinculada. No caso desta disciplina, como acontece com quase todas, é bastante vaga, dando margem a diversos tipos de interpretações e, conseqüentemente diferentes trabalhos podem ser realizados⁸⁹, daí ter sido dada preferência a descrever os objetivos que os docentes traçaram para suas respectivas turmas.

Conforme já foi esclarecido no item anterior, a observação aos trabalhos neles desenvolvidos se deu por amostragem, quando foram escolhidas três turmas de Ateliê III (que serão denominadas de turmas A, B e C) e uma turma de Ateliê IV para serem acompanhadas. Este acompanhamento aconteceu durante os meses de

⁸⁹ As ementas dos Ateliês III e IV podem ser encontradas no apêndice 06.

novembro de 2004 a fevereiro de 2005, durante a finalização do ano letivo de 2004. Assim, “[...] **oferecer ferramentas e repertório para os alunos desenvolverem projetos habitacionais criativos, de excelência, mas construtiva e estruturalmente viáveis e com o necessário amadurecimento em seu desenvolvimento tecnológico e construtivo**”, foi o objetivo definido para os alunos de uma das turmas do Ateliê III. Em outra turma acompanhada, o tema principal foi a habitação, e sua proposta de trabalhos levou em consideração “[...] **as características da cidade de Salvador, no sentido de promover uma reflexão sobre a função habitação e seu desenvolvimento numa cidade fundada com claros objetivos militares e administrativos**”⁹⁰. Com relação à terceira turma, não tivemos acesso ao seu programa de curso, o que nos impossibilitou a análise de seus objetivos. Pode-se observar que os objetivos apresentados não apresentavam obstáculos que impedissem propostas formais não convencionais, desde que estas fossem “viáveis construtiva e estruturalmente”, ou que refletissem um estudo sobre “a habitação numa cidade fundada com determinados objetivos”.

Quanto ao Ateliê IV, o primeiro exercício apresentado para esta turma, e que foi observado, constava de estudo de área da cidade e proposta de equipamento. Assim, além do **conhecimento da área de estudo**, deveria ser **desenvolvido um projeto de arquitetura na perspectiva da reestruturação e requalificação do lugar**. Na segunda atividade apresentada, o exercício continuou sendo o **“desenvolvimento de projeto de arquitetura na perspectiva de reestruturação e requalificação do lugar”**, apenas a área de intervenção é que foi modificada, além de que deveria ser também apresentada uma proposta para ocupação de uma lacuna (um lote vago) existente no local escolhido. Observa-se que, neste caso, a proposta dos exercícios traz algumas limitações quanto às formas que poderiam ser propostas, visto se tratar de requalificação de locais pertencentes a conjuntos históricos, portanto não deveriam descaracterizar o conjunto, devendo ser harmônicos com seu entorno.

Quanto ao TFG, este surge em 1995 sob a denominação de TGI – Trabalho de Graduação Integrado, como uma atividade anual a ser desenvolvida no final do

⁹⁰ Objetivos e propostas de trabalho extraídos do conteúdo programático apresentado pelos docentes da disciplina ao Departamento da Criação e Representação Gráfica.

curso e que, por razões de adequação à carga horária total do curso, poderia ser desenvolvido em substituição às disciplinas ARQ 112 - Planejamento VII e ARQ 113 – Planejamento VIII. Já em 1996, para se adequar à Portaria 1770 do MEC, é criado o TFG – Trabalho Final de Graduação. Como este só seria obrigatório para os alunos ingressos a partir de 1996, por conta da adaptação curricular o TGI é mantido até 1998 e, no ano seguinte é implantado efetivamente o TFG, com os primeiros destes trabalhos sendo elaborados.

Por se tratar de um trabalho de conclusão de curso, realizado após a inserção das disciplinas de informática no currículo, considerou-se relevante a análise dos TFG apresentados, no sentido de verificar se os conhecimentos de CAD oferecidos nestas disciplinas, ou mesmo nas demais, foram de algum modo apropriados pelos alunos, de maneira que tivessem algum rebatimento nas suas propostas projetuais em termos de produção da forma, que é o objeto desta tese.

Nos Ateliês III e IV acompanhados verificou-se a inexistência de trabalhos com propostas formais que pudessem ser classificadas como não convencionais e, sendo assim, as observações relativas à estes serão feitas em conjunto, sem destaques individuais. O mesmo ocorre com a maior parte dos Trabalhos Finais de Graduação, onde em apenas um número reduzido das propostas analisadas (sete), foram encontradas formas que podem ser consideradas não convencionais e que serão então apresentadas em destaque.

Entretanto, durante a pesquisa para resgate de trabalhos realizados em ateliês que ocorreram em semestres anteriores, tomou-se conhecimento de projetos onde as propostas formais não são convencionais. Trata-se de um trabalho proposto no Ateliê III realizado em 1997, e dos trabalhos realizados no “**Ateliê Cooperativo de Simulação Digital**” experiência levada a efeito em 2002. A estes, somam-se as propostas apresentadas no TFG já referidas anteriormente e que, por apresentarem propostas formais não convencionais serão analisados com destaque.

4.3.1 O uso do computador apenas como editor de desenho

a. Ateliês III e IV

O tipo de observação aplicada aos trabalhos apresentados nos Ateliês III e IV acompanhados foi a sistemática ou estruturada e, a metodologia utilizada constou de acompanhamento das apresentações parciais do que estava sendo elaborado, onde os alunos eram questionados sobre o uso do ferramental CAD na disciplina, com registro por escrito⁹¹ das características formais dos trabalhos, e sobre os instrumentos utilizados na sua elaboração, além de registros fotográficos das propostas. A relação das turmas acompanhadas e dos seus respectivos docentes encontra-se no Apêndice 06.

Nestas turmas para a apresentação das propostas nas atividades que foram observadas, todos usaram representação gráfica, em alguns casos acompanhadas de maquetes (representações físicas). A maioria utilizou para esta representação tanto os instrumentos tradicionais (lápis, régua, esquadros, compasso, etc.), quanto as ferramentas computacionais. Apenas seis declararam fazer uso, até a etapa que estava sendo apresentada, exclusivamente dos instrumentos tradicionais. Quanto aos que utilizaram as ferramentas computacionais, todos fizeram uso do **AutoCAD** e, muito poucos trabalharam com outros programas, dentre os quais seis usaram o **3DStudio** e apenas um utilizou o **ArchiCAD**.

As representações apresentadas tiveram variações a depender das exigências feitas para cada turma. Assim, no Ateliê III, a turma A apresentou plantas baixas, de situação e estudos volumétricos, na sua maioria através de perspectivas feitas em computador. Com relação à turma B, foram apresentadas plantas baixa, cortes e fachadas por todos, aos quais apenas um aluno acrescentou o estudo volumétrico, o que se justifica pelo fato de que, nesta etapa não havia esta exigência. A exigência de maquete nesta etapa foi observada apenas na turma C, onde apenas um trabalho referente à esta atividade foi apresentado no dia marcado. As fotos apresentadas nas figuras 4.01 a 4.04 são ilustrativas de algumas propostas apresentadas. Já, nos

⁹¹ O modelo de ficha de acompanhamento das atividades de ateliê encontra-se no Apêndice 05

trabalhos apresentados ao Ateliê IV a maioria realizou a representação usando só os instrumentos tradicionais, sendo que em alguns deles, aliada à representação usando o ferramental computacional. O esboço foi a representação mais freqüente, acompanhada da planta baixa. Outro recurso de representação bastante utilizado foi a maquete, feita em papelão e cuja utilização foi estimulada pelos docentes. Dos que utilizaram o ferramental computacional, quase a totalidade usou apenas para representações bidimensionais de planta, cortes e alguns a fachada, e apenas um aluno apresentou estudo de volumetria em modelagem tridimensional, conforme pode ser observado nas fotografias de alguns dos trabalhos apresentados, vistas nas figuras 4.05 a 4.09.

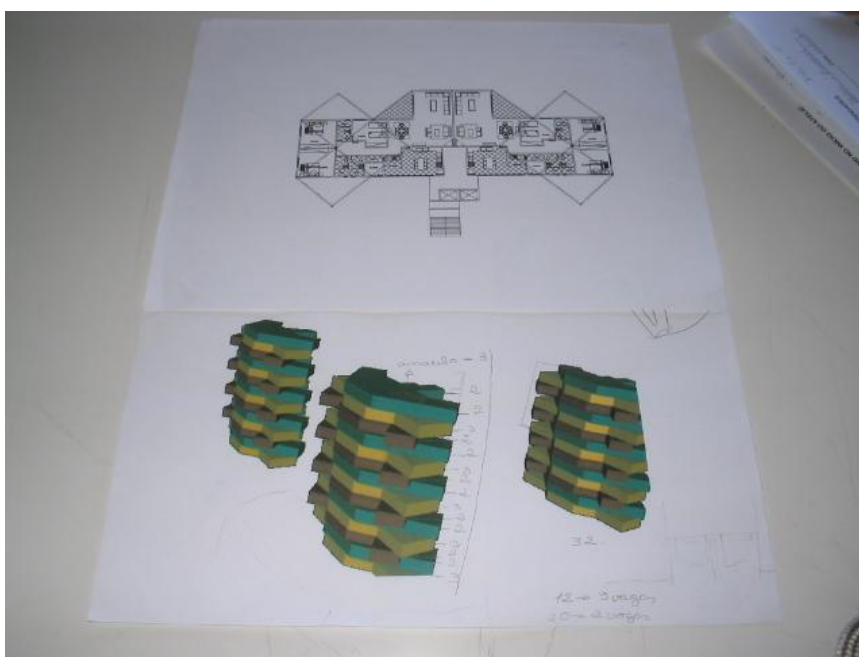


Figura 4.01: Proposta para edifícios. Planta Baixa e Estudo Volumétrico. Ateliê III - Turma A. Alunas: Sabrina Cunha Santos e Maria Elisa de Magalhães Veloso.

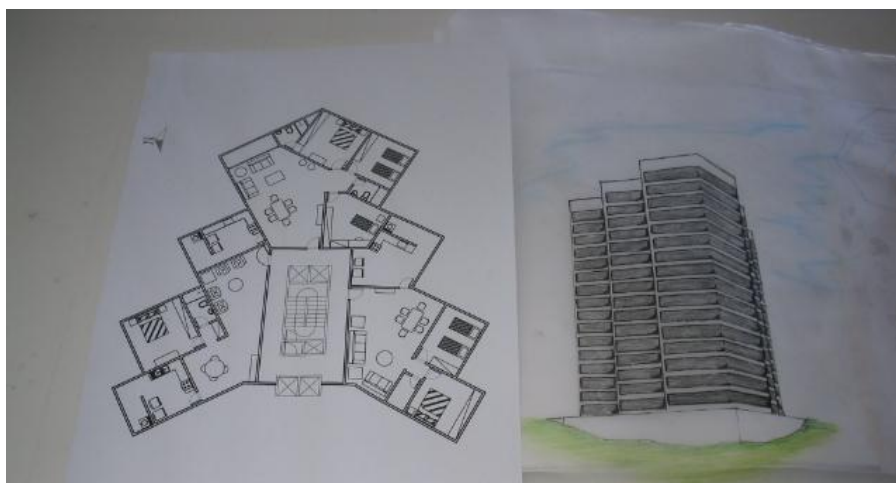


Figura 4.02: Proposta para edifício. Planta Baixa e Perspectiva da Fachada. Ateliê III - Turma A.
Alunas: Sabrina Cunha Santos e Maria Elisa de Magalhães Veloso.

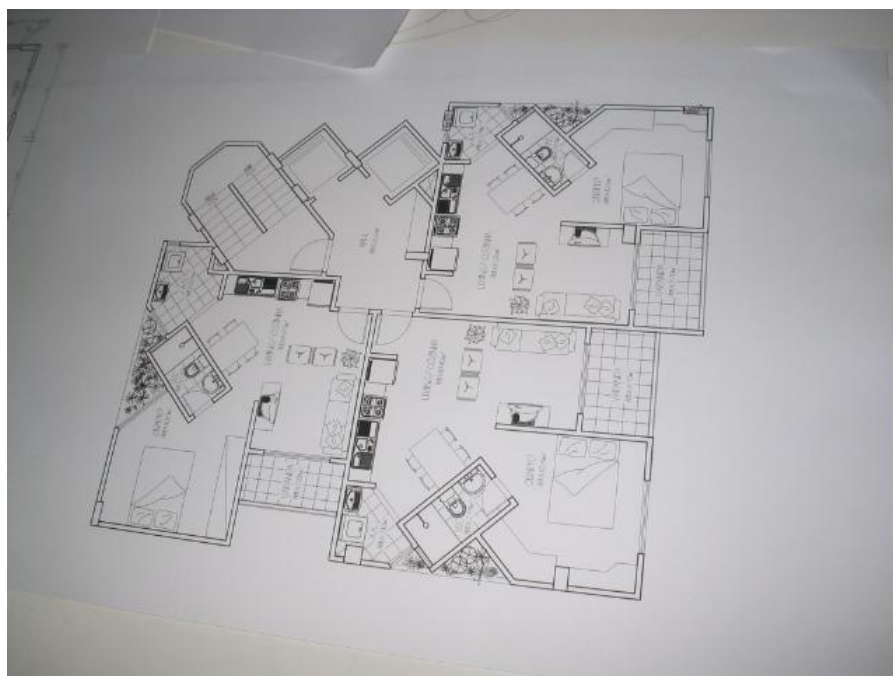


Figura 4.03: Proposta para edifício. Planta Baixa. Ateliê III - Turma B. Aluna: Ana Maria.



Figura 4.04: Estudos de volumetria para edifício. Fachada, modelo tridimensional e perspectiva. Ateliê III - Turma B. Aluna: Elisângela Leão.

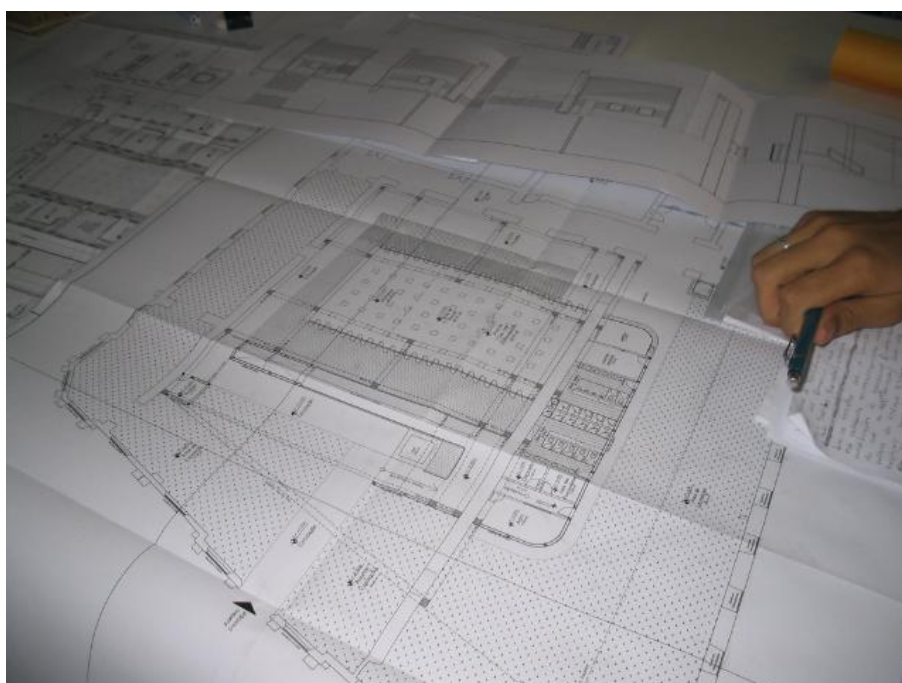


Figura 4.05: Centro Profissionalizante. Estudo preliminar. Ateliê IV - Aluno: Leandro Cardoso Penna



Figura 4.06: Centro Cultural. Estudo da passarela. Ateliê IV - Alunos: Gustavo Santamaria e Leandro Cruz.

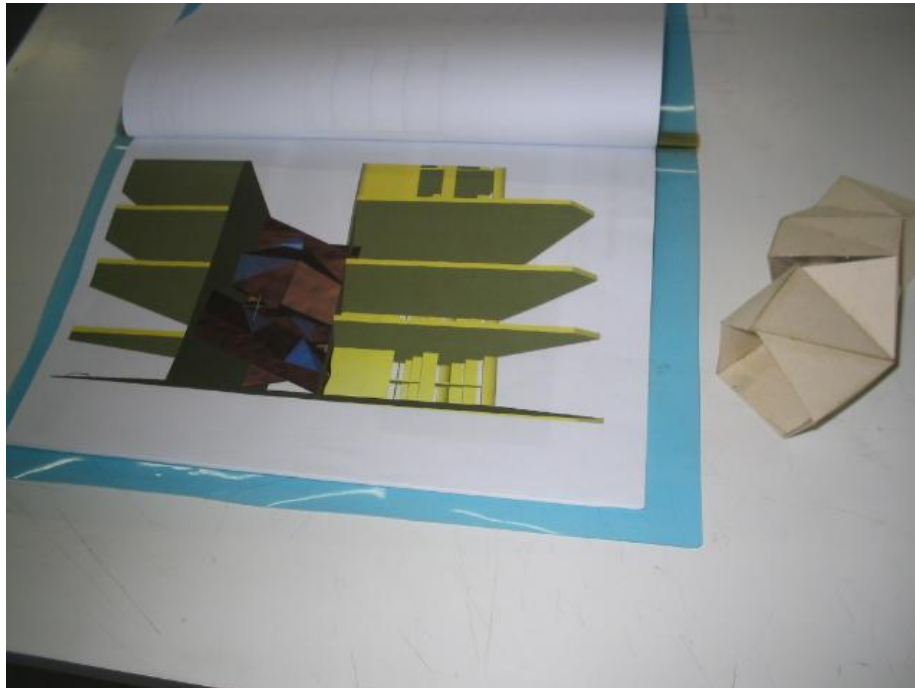


Figura 4.07: Centro Cultural. Estudo de volumetria. Ateliê IV - Alunos: Gustavo Santamaria e Leandro Cruz.

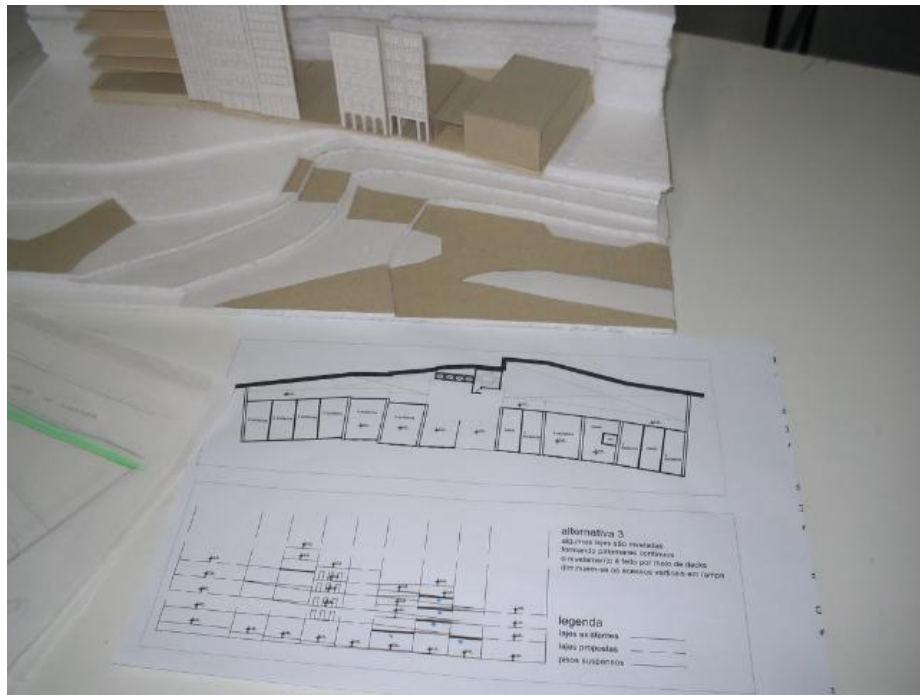


Figura 4.08: Hotel. Estudos de volumetria e maquete. Ateliê IV - Alunas: Mirna e Gabriela

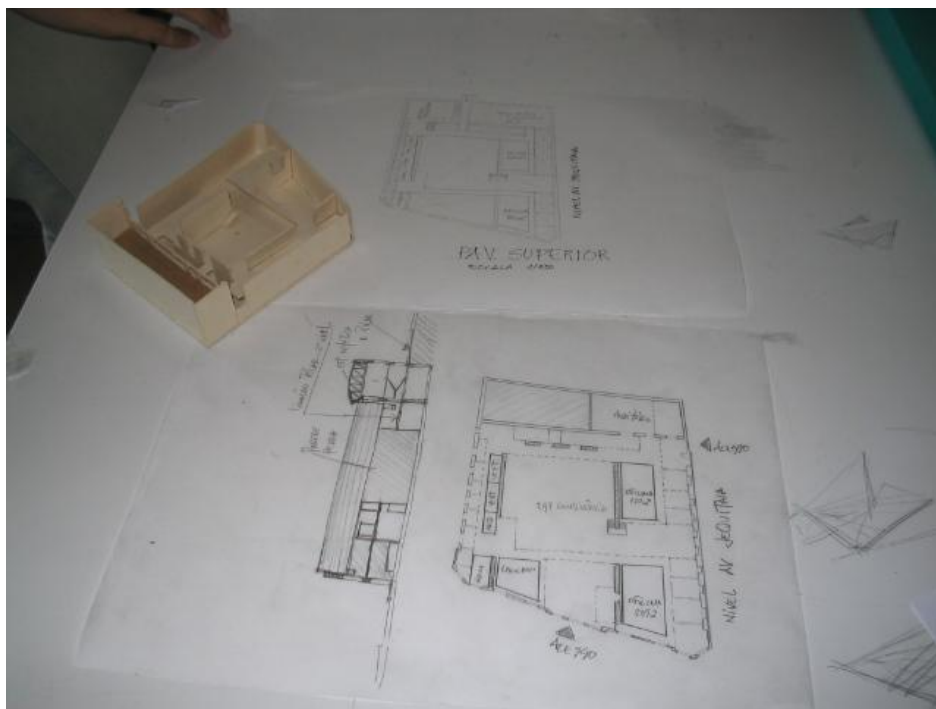


Figura 4.09: Ocupação do Trapiche Barnabé. Estudo preliminar para proposta arquitetônica. Ateliê IV - Alunos: Anderson, Camile e Glenda.

De maneira geral, nos trabalhos apresentados e observados, pudemos verificar que:

- Todos foram apresentados em CAD, em alguns casos para atender a um requisito colocado pelos docentes e o programa utilizado foi o **AutoCAD**, o que pode ser justificado pelo fato de ser este o programa usado na disciplina de Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo I;
- A maioria sabe usar apenas os recursos 2D do **AutoCAD**, e sendo assim, a ferramenta foi utilizada por quase todos apenas como recurso de desenvolvimento e apresentação das peças de documentação, ou seja, para o desenho das plantas baixas, cortes e fachadas. A maioria não apresentou o modelamento tridimensional dos volumes propostos;
- Todos os que utilizaram os instrumentos computacionais colocaram as ferramentas CAD como facilitadoras da representação, principalmente no que diz respeito àquelas tarefas cansativas de desenho, como a elaboração de *layout*, construção dos cortes e fachadas; os que utilizaram também o modelamento tridimensional dos volumes evidenciaram a melhoria na visualização da proposta;
- O processo de geração formal foi iniciado, pela maior parte dos alunos, em croquis à mão livre, a lápis sobre papel. Depois de definida uma idéia inicial, a maioria partiu para a definição dos espaços internos e do *layout* destes espaços no **AutoCAD**. Assim procederam por julgar que no computador o ajuste dos espaços ao pré-dimensionamento definido é mais fácil e preciso, bem como o *lay-out* é facilitado pela existência de “blocos” já prontos de mobiliário e equipamentos. Apenas um aluno declarou iniciar a definição formal com estudos de volumetria em CAD, a partir de primitivos sólidos.
- Observou-se um grande número de erros de representação gráfica, o que pode ser explicado pela inexistência de conteúdos específicos a esse respeito na grade curricular. Estes conteúdos estão incluídos nos ateliês iniciais, mas os alunos colocam que não são abordados com a clareza e profundidade necessárias.
- Outra observação feita por alguns alunos foi que a precisão do CAD implicou muitas vezes na reformulação de propostas que haviam sido

inicialmente colocadas, já que na transposição destas do *croquis* (elaborado a lápis), para o computador, muitos erros ou equívocos ficavam evidentes, e eles consideravam este um ponto positivo relativo ao uso desta ferramenta. Este é um ponto, inclusive, evidenciado por muitos alunos: o uso das ferramentas CAD facilita as alterações necessárias no projeto, que são feitas com mais rapidez e precisão.

Foi perguntado aos professores e alunos se houve estímulo da parte dos primeiros no uso das ferramentas CAD no processo de execução dos exercícios, e duas respostas opostas foram obtidas: por parte dos professores do Ateliê III a resposta foi de que este estímulo deu-se apenas no sentido de solicitar que a “representação final fosse feita em CAD”, não sendo estimulado o uso deste ferramental na fase da concepção, da geração formal e, quanto aos professores do Ateliê IV, estes não estimulam o uso do ferramental computacional em nenhuma etapa do processo. Este comportamento reflete o fato de que, a maioria dos docentes entrevistados não se sente preparada o suficiente no que diz respeito aos conhecimentos referentes às ferramentas CAD, para que possa orientar os alunos na sua utilização. Muito pelo contrário, pelo fato de não serem usuários pessoais do CAD, já que em suas atividades de arquiteto delegam esta tarefa para outrem, não se sentem à vontade para orientar e nem ao menos incentivar o uso deste ferramental, do qual desconhecem as potencialidades. Aliás, a maioria dos docentes está ainda na primeira fase de utilização das ferramentas CAD, onde estas são usadas apenas como “editor de desenho”, em desenhos projetivos ortogonais ou em perspectivas de apresentação, o que se refletiu no nível de apropriação verificado nos trabalhos discentes.

Sobre a avaliação referente ao uso do instrumental computacional interferir no resultado apresentado na atividade, os alunos que trabalharam com estas ferramentas consideram que elas deram mais precisão e facilitaram as tarefas de desenho, além de propiciarem uma melhor visualização no caso dos que utilizaram para o estudo de massa.

b. TFG

Quanto aos Trabalhos Finais de Graduação, a idéia inicial era fazer uma análise de todos apresentados, de 1999 até 2004. Entretanto isto não foi possível, já que nem todos estão arquivados no Colegiado do Curso de Arquitetura. Outro recorte que foi feito dentre os trabalhos arquivados diz respeito à natureza da proposta. Alguns trabalhos referem-se à propostas urbanísticas, de intervenções que não se traduzem em edificações, e onde não seria possível verificar a interferência do computador na produção da forma dos edifícios e, neste caso, estas propostas não foram analisadas.

O tipo de observação aplicado foi a sistemática ou estruturada que, segundo Lakatos & Marconi, “realiza-se em condições controladas, para responder a propósitos preestabelecidos”. E ainda, “[...] o observador sabe o que procura e o que carece de importância em determinada situação”⁹².

Assim, foram examinados sessenta e três trabalhos, apresentados entre 2000 e 2004, e os pontos observados foram os seguintes:

- Proposta “formal” – convencional ou não;
- Representação gráfica apresentada – tipos e nível de detalhamento das pranchas;
- Instrumental utilizado no projeto – tradicional, computacional, ambos, ou se não há como fazer esta identificação;
- Interferência do instrumental na produção formal.

De uma maneira geral o que se pode observar foi o seguinte:

- Os relatórios são muito sucintos, e a maioria não faz menção ao processo de projeto, à metodologia utilizada;
- A maioria dos relatórios contém apenas a parte escrita referente ao diagnóstico do problema, os pressupostos para a proposta e a descrição desta proposta. Os desenhos anexados referentes ao projeto, na maioria das vezes, se resumem à algumas plantas, em escala reduzida, geralmente a

⁹² LAKATOS & MARCONI, op. cit. p. 193.

Planta de Localização, a de Situação e uma Planta Baixa. Poucos apresentaram o jogo completo de pranchas do projeto proposto e, segundo relato do funcionário do Colegiado, isto se deve ao alto custo da impressão de cópias para serem arquivadas. A alternativa seria então a entrega também de arquivo no formato digital, o que aconteceu em alguns casos. Ocorre que nem sempre foi possível analisar estes trabalhos já que alguns disquetes estavam com defeito.

- Outra questão é com relação à falta de identificação do(s) programa(s) utilizados na elaboração do projeto. Isto ocorreu em todos os trabalhos que só tiveram o relatório impresso arquivado e, em alguns que entregaram também em CD-Rom, mas apenas com arquivos das suas apresentações em **PowerPoint**.

No exame das propostas apresentadas, verificou-se que:

- A grande maioria traz formas convencionais, geralmente derivadas do prisma, variando apenas a cobertura que em alguns casos é em abóbada. Pelo fato de que em alguns relatórios não constam os desenhos referentes à proposta projetual, também não há como ser feita a análise com relação à forma nestes trabalhos. Em doze dos trabalhos analisados a proposta formal mescla o uso de formas convencionais com curvas e superfícies mais complexas e em sete podem ser identificadas formas claramente não convencionais.
- Na maioria dos relatórios arquivados, constam plantas de situação e algumas plantas baixas, cortes e fachadas. Muito poucos apresentam pranchas com detalhes, e 2 (dois) não apresentaram nenhum desenho relativo ao projeto. Alguns apresentaram apenas esquemas das propostas. Foram também observados modelos tridimensionais elaborados em CAD ou maquetes em dez trabalhos.
- Predominam os desenhos feitos em CAD (cinquenta e quatro trabalhos), principalmente na elaboração de plantas baixas, cortes e fachadas, além das plantas de situação e localização. Entretanto em três trabalhos também foram utilizados instrumentos tradicionais como a maquete, e em um trabalho só foram encontrados registros de desenhos feitos com utilização do

instrumental tradicional. Em dois trabalhos não havia como identificar o instrumental utilizado na elaboração do projeto.

- Em apenas quatro trabalhos consta no relatório feito pelos alunos que o uso das ferramentas CAD interferiu no processo de elaboração da proposta apresentada. Nos demais, não há como saber se houve ou não interferência dos instrumentos no processo de produção da forma arquitetônica apresentada. Registre-se que estes relatórios são elaborados livremente pelos alunos e são subjetivos.

Assim, resumindo, verificou-se que na maioria dos trabalhos as formas propostas são convencionais e praticamente todos utilizaram as ferramentas CAD, como instrumento de tradução, para registro e documentação do projeto, não sendo possível nestes casos, inferir se estas ferramentas também foram instrumentos de concepção e/ou validação e desenvolvimento durante a projeção. Trata-se portanto de um uso característico da primeira fase de implantação do ferramental computacional, onde o mesmo é apenas instrumento de representação para a documentação do projeto e onde existe um predomínio das tecnologias tradicionais.

4.3.2 O computador utilizado também como ferramenta de concepção

Em sete projetos do TFG, como já foi colocado anteriormente, são propostas formas não convencionais e, em alguns dos relatórios correspondentes à estes projetos há o registro explícito de que, no processo de criação e/ou desenvolvimento destas formas houve interferência do ferramental computacional, de várias maneiras tais como: possibilitando a sua representação, validando a proposta através do estudo de modelos, com simulações de iluminação, ventilação e em simulações de implantação no terreno⁹³. Assim, podem ser colocados na segunda fase onde existe uma utilização do ferramental computacional como instrumento de projeto embora ainda mesclada ao uso de instrumentos tradicionais de projeção como as maquetes.

⁹³ No apêndice 03 estão relacionados os Trabalhos Finais de Graduação apresentados em destaque, com seu autor, orientador e data de apresentação.

Também os trabalhos desenvolvidos no “Ateliê Cooperativo de Simulação Digital” se encaixam nesta fase de apropriação das ferramentas computacionais. Trata-se de experiência desenvolvida no ano de 2002 sob a coordenação do Professor Gilberto Corso Pereira, que além de professor de projeto em disciplinas de ateliê, também é pesquisador e atualmente coordenador do LCAD. Teve como ementa: “Desenvolver o uso das ferramentas computacionais como instrumento mediador no processo de colaboração / criação / compreensão / comunicação / avaliação / apresentação de propostas arquitetônicas e de desenho urbano”. Da sua proposta de curso constava o uso de tecnologias computacionais para a simulação de ambientes; a modelagem, o gerenciamento de informações espaciais e não-espaciais, a apresentação, a avaliação de alternativas projetuais e a tomada de decisões.

Os temas projetuais propostos para serem desenvolvidos foram os seguintes:

- Projetos onde a forma e/ou estrutura sejam complexos;
- Intervenção / Readequação de uso em edifícios ou espaços urbanos existentes;
- Intervenções viárias no espaço urbano;
- Projetos onde os aspectos de iluminação natural / artificial sejam determinantes.

Como atividades integrantes do ateliê, foram realizados três *workshops*, que tinham como objetivo fornecer aos alunos conhecimentos relacionados com os objetivos projetuais a serem alcançados. Assim, aconteceram durante o ano letivo, os seguintes *workshops*:

1. “Processo de Projeto em Arquitetura e Urbanismo em Ambiente Computacional”, ministrado pelos professores: Isabel Medero Rocha e Voltaire Dankwardt, ambos da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, em São Leopoldo no Rio Grande do Sul.
2. “Arquitetura e Estruturas”, ministrado pelo professor Antonio Carlos Reis Laranjeiras da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.
3. “Simulação Computacional e Projeto de Iluminação”, ministrado pela professora Arq. Thais Sanches, da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia.

Foram matriculados e cursaram cinco alunos, um número bastante reduzido, mas com produtos que refletem o êxito da experiência, já que nas propostas

apresentadas ficou evidenciada utilização das ferramentas computacionais como instrumentos de concepção no processo de projeto, auxiliando na tomada de decisões, viabilizando representações e respaldando opções⁹⁴. Dos trabalhos resultantes desta experiência quatro serão apresentados já que o quinto refere-se a intervenção de cunho urbanístico, não tendo propostas de edificações onde a produção da forma possa ser discutida.

Além dos projetos destacados do TFG e daqueles resultantes do Ateliê Cooperativo de Simulação Digital, será também apresentado o trabalho de uma equipe de alunos de uma turma do Ateliê III, coordenada pelo Professor Alberto Rafael Cordiviola, realizada em 1997, e que apresenta uma proposta para uma Faculdade de Arquitetura com uma forma não convencional e onde a utilização do ferramental computacional foi determinante na sua viabilização.

a. Museu do Mar. TFG - Aluno: Fabio Jorge da Silva Melo / 2002

O trabalho denominado “Museu do Mar, traz uma proposta com “formas orgânicas” que remetem intencionalmente à formas marinhas. No trabalho apresentado os desenhos são em **AutoCAD** e, embora não haja registro no relatório se esta ferramenta interferiu no processo projetual, acredita-se que tenha sido um facilitador ao menos na representação de suas formas complexas, conforme pode ser observado nas figuras 4.10 e 4.11.

⁹⁴ A relação dos alunos com os respectivos trabalhos produzidos encontra-se no Apêndice 02.

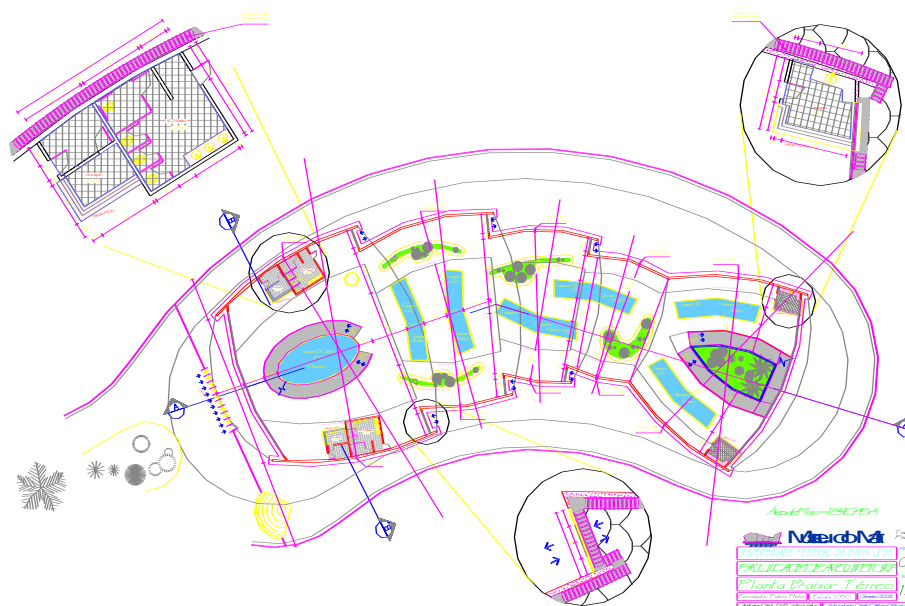


Figura 4.10: Projeto: Museu do Mar. Planta Baixa do pavimento térreo. Aluno: Fábio Melo.

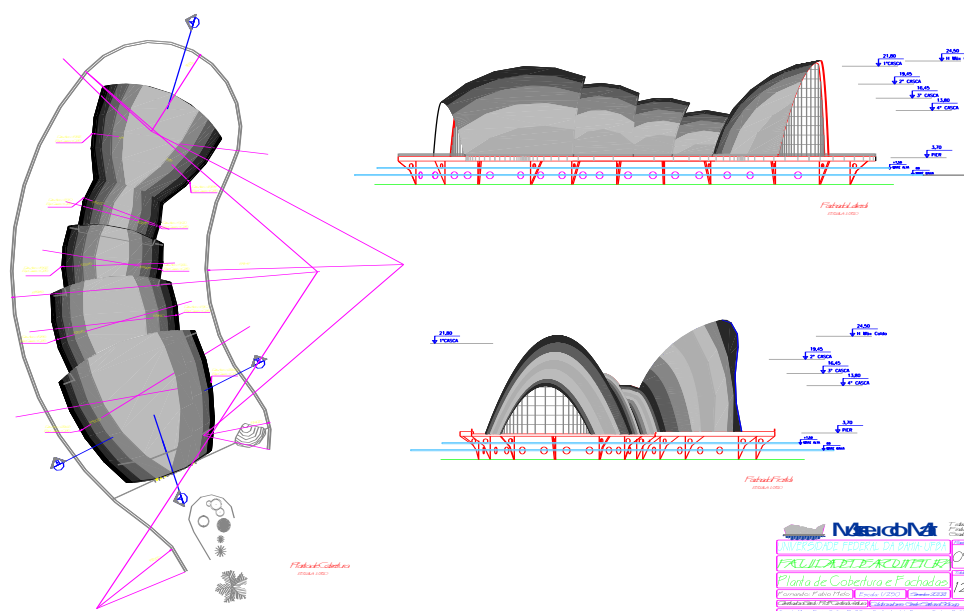


Figura 4.11: Projeto: Museu do Mar. Fachada e Cobertura. Aluno: Fábio Melo.

Além de ter sido utilizado como ferramenta de representação para os desenhos de plantas, cortes e fachadas, também há registro de modelos tridimensionais, embora não seja explicitado se foram utilizados como estudo de volumetria ou apenas como material de apresentação. As figuras 4.12 e 4.13 referem-se à estes modelos tridimensionais.

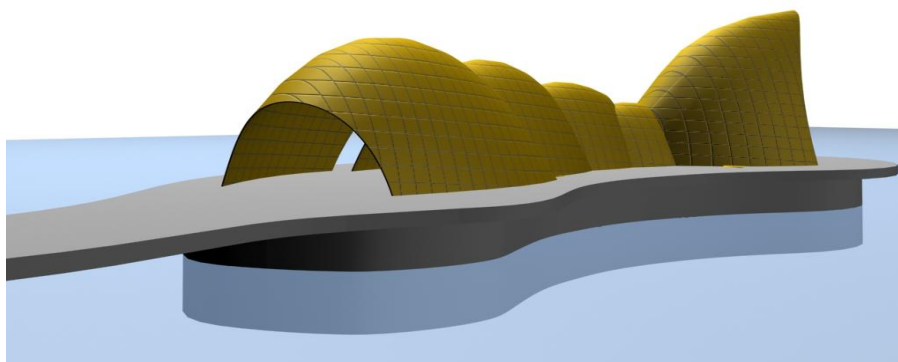


Figura 4.12: Projeto: Museu do Mar. Volumetria. Aluno: Fábio Melo.

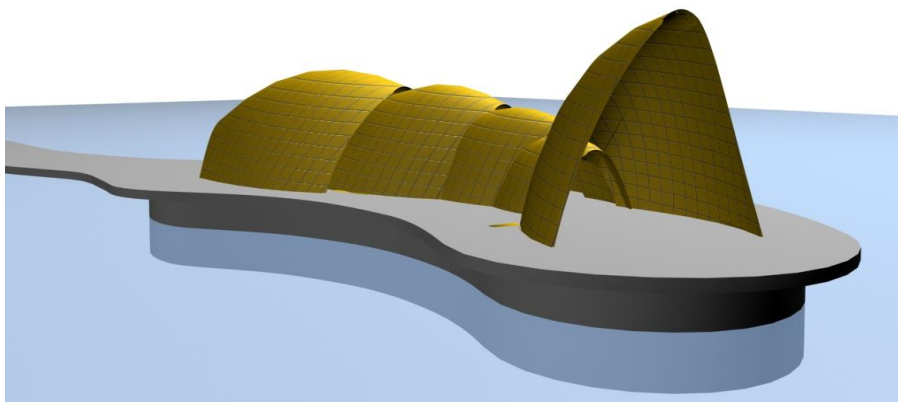


Figura 4.13: Projeto: Museu do Mar. Volumetria. Aluno: Fábio Melo.

b. Recuperação de Apenados: EducaAção. TFG - Aluno: Orlando Moreira Ribeiro Júnior / 2003

Neste projeto são apresentadas formas não convencionais com coberturas em lona tensionada na forma de parabolóides hiperbólicos. O autor se diz inspirado nos trabalhos do arquiteto Santiago Calatrava, e coloca que o uso da “manta tensionada é intencional”, justificando que a mesma “invoca leveza tal qual um vela de barco.

Vista de vários pontos focais, a cobertura branca tem contraste com seu entorno, tira proveito da luz solar e, devido à sua forma, capta vento retardando o acender das luzes e dispensando o uso do ar condicionado”. Além de ter seus desenhos elaborados no **AutoCAD**, também usou este ferramental para estudos volumétricos, conforme ilustrado nas figuras 4.14 e 4.15.

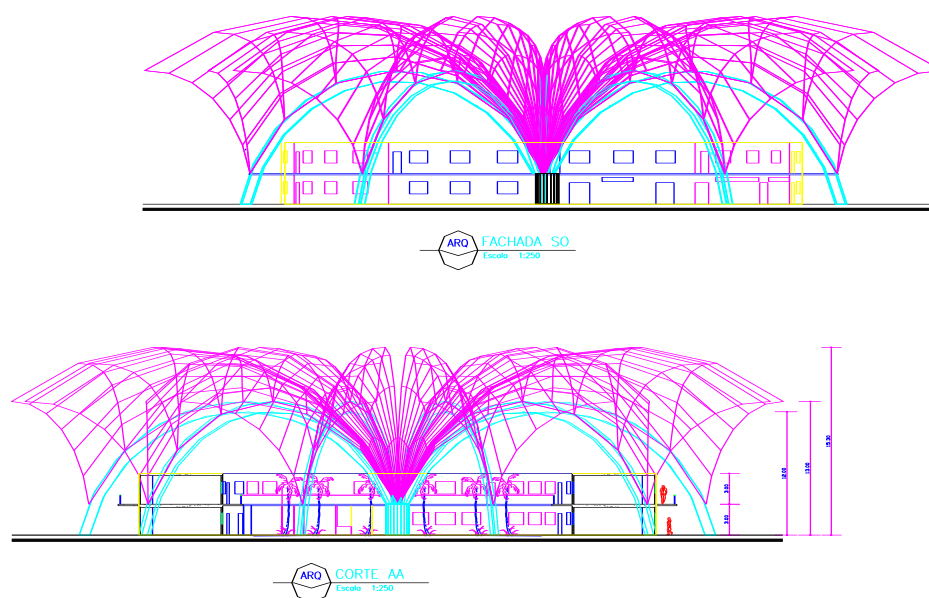


Figura 4.14: Reprodução da prancha de Cortes - Administração. Projeto: Educação. Aluno: Orlando Júnior.

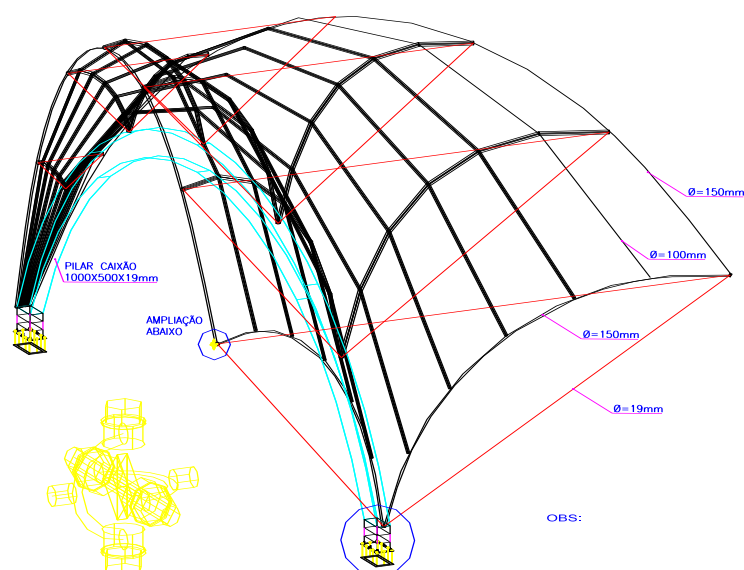


Figura 4.15: Reprodução de prancha contendo a vista em perspectiva de detalhe da estrutura da cobertura. Projeto: Educação. Aluno: Orlando Júnior.

c. Centro de Tecnologia Rural Barata Azul – CTR. TFG - Aluno: André Dias de Oliva / 2004

Embora partindo de primitivos sólidos simples, o conjunto resultante, apresentado no “Centro de Tecnologia Rural Barata Azul”, possui forma não convencional. O autor, em seu relatório, deixa claro que as ferramentas computacionais foram utilizadas como auxílio ao seu projeto.

“Paralelamente a esta trajetória, a facilidade trazida pelos programas de computação gráfica para os estudos e tomadas de decisão projetuais foi incorporada ao andamento do trabalho como forma de atingir resultados melhores, mais precisos e rápidos. A quantidade de programas existentes no mercado que trabalham com situações de iluminação, conforto térmico, acústico, estruturas, além de simular tridimensionalmente o mesmo, facilitando o seu entendimento por leigos e técnicos é imensa. [...] Por acreditar nas inúmeras vantagens trazidas, a intenção de pesquisar e utilizar algumas destas possibilidades foi um ponto pretendido com este trabalho como forma de suscitar esta discussão da inclusão dessas ferramentas no processo projetual”.

O autor ressalta ainda que os estudos e simulações possibilitaram não só a resolução formal do CTR, mas também “[...]o desenvolvimento de questões simbólicas e referenciais [...]”, e defende o uso de *software* para representação tridimensional, por achar que fica mais fácil o entendimento do projeto

Nas figuras 4.16 e 4.17, a seguir, podem ser vistos alguns estudos de implantação elaborados com auxílio das ferramentas CAD.



Figura 4.16: Projeto: CTR. Modelo tridimensional de estudo do partido com adoção das lajes verdes. Aluno: André Oliva.



Figura 4.17: Projeto: CTR. Modelo tridimensional da implantação e partido (casca, sem a representação das lajes verdes – blocos de refeitório e serviços. Aluno: André Oliva.

d. Projeto para a 3^a. Idade – uma nova forma de viver: Residencial Gamboa. TFG
- Aluno: Rodrigo Dratovsky / 2004

A circunferência é o primitivo formal utilizado para o projeto dos módulos destinados aos apartamentos individuais. Observa-se que o CAD foi utilizado nos desenhos e, embora não haja registro em seu relatório de ter sido usado como ferramenta de concepção e desenvolvimento do projeto, é possível que a representação tenha sido facilitada com o seu emprego (Figura 4.18). Além disto, a existência de modelos tridimensionais, conforme pode ser visto na figura 4.19, demonstra sua utilização, no mínimo como recurso de apresentação da proposta, proporcionando uma melhor visualização da mesma.



Figura 4.18: Projeto: Residencial Gamboa. Planta do Pavimento Térreo. Aluno: Rodrigo Dratovsky



Figura 4.19: Projeto: Residencial Gamboa. Estudo volumétrico. Aluno: Rodrigo Dratovsky.

e. Arquitetura Hoteleira enquanto Marco Visual e Agente de Requalificação Urbana. TFG - Aluna: Lídice Araújo Mendes de Carvalho / 2004

A situação do hotel, num local de grande visibilidade e onde hoje existem ruínas do que outrora foi o Clube Português, foi a razão da autora procurar uma forma que desse ao edifício um caráter de marco visual.

Segundo a autora, as ferramentas CAD foram utilizadas para estudos de massa, de ventilação e iluminação natural, bem como para a elaboração dos desenhos de plantas, cortes e fachadas. Também foi feito um estudo da volumetria em computador, através da modelagem, permitindo que se obtivesse a forma aproximada de uma vela, conforme ilustrado nas figuras 4.20 e 4.21 a seguir.

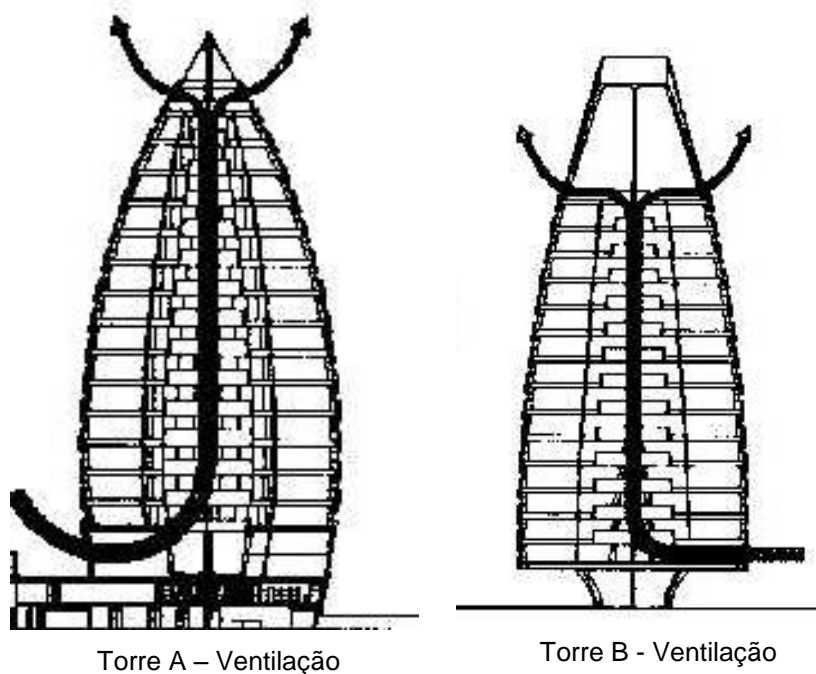


Figura 4.20: Projeto: Arquitetura Hoteleira. Cortes das torres, com estudo da ventilação. Aluna: Lídice Carvalho.

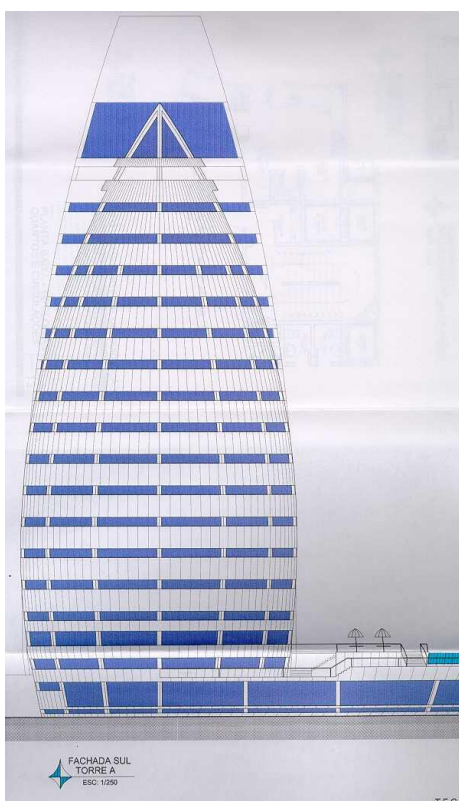


Figura 4.21: Projeto: Arquitetura Hoteliera. Fachada Sul – Torre A. Aluna: Lídice Carvalho.

f. Terminal Rodoviário Alternativo. TFG - Aluno: Anselmo Sampaio Pires / 2004

O autor coloca no relatório, que sua proposta iniciou com um estudo volumétrico e só depois é que foram desenvolvidos os desenhos, principalmente por conta da complexidade formal da estrutura de concreto proposta.

O projeto foi desenvolvido então, a partir da modelagem tridimensional, com uso de ferramentas CAD, e os desenhos resultantes também foram elaborados fazendo uso deste instrumental, inclusive as vistas internas perspectivadas utilizadas para a apresentação, como pode ser visto nas figuras 4.22 e 4.23 a seguir.

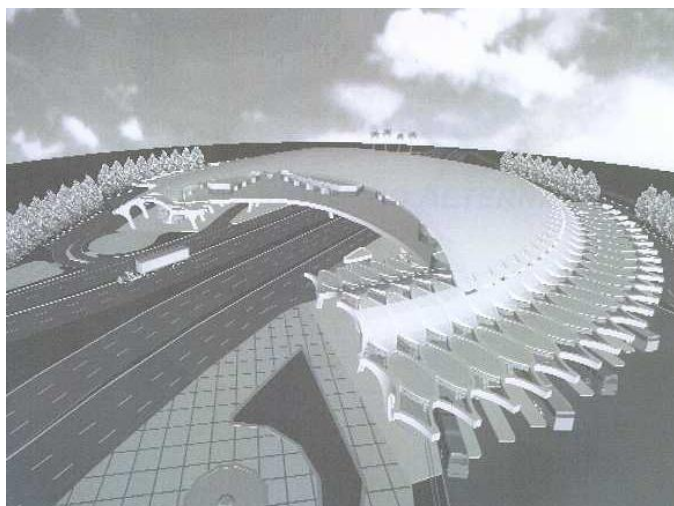


Figura 4.22: Projeto:Terminal Rodoviário Alternativo. Modelo 3D da proposta. Aluno: Anselmo Pires.

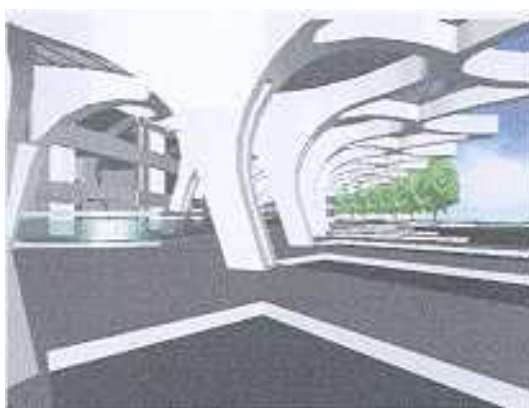


Figura 4.23: Projeto: Terminal Rodoviário Alternativo. Modelo tridimensional com vista perspectivada do interior, com destaque para as baias para os ônibus. Aluno: Anselmo Pires.

g. Museu Salvador. Ateliê Cooperativo de Simulação Digital / TFG - Aluno: Jaine Pinto de Carvalho / 2002-2003

Este trabalho foi iniciado durante o “Ateliê Cooperativo de Simulação Digital” e posteriormente desenvolvido no TFG. De todos aqui apresentados, este é o que mais caracteriza do uso das ferramentas CAD na projeção, sendo este inclusive um dos seus objetivos. Além disto, há um registro completo de todo o processo ocorrido durante a elaboração do projeto, o que possibilitou uma análise mais detalhada do mesmo.

O autor coloca no relatório que o objetivo principal da metodologia empregada no processo de projeto foi o de testar e corroborar uma metodologia direcionada ao desenvolvimento de projetos que não estivesse pautada na representação bidimensional tão comum ao atual processo de projeto. Como objetivos secundários estavam o de comprovar quais

“[...] aspectos e conceitos de modelagem tridimensional e técnicas de simulação oferecidos pelo uso do computador, pela computação gráfica e pelas ferramentas multimídia podem e devem ser usados pelos arquitetos, construindo uma nova forma de desenhar com estas possibilidades, de maneira a prever e analisar com mais clareza os impactos do entorno e impactos visuais causados pelo objeto arquitetônico concebido.”

O projeto deveria então ser concebido a partir da criação de um modelo tridimensional digital que pudesse exprimir todas as informações colhidas e, a partir dele, seriam extraídos tanto os desenhos de documentação para a obra (plantas, cortes e fachadas), como as perspectivas, animações além da inserção do modelo nas fotos do local para mostrar sua implantação e situação.

Inicialmente foram feitos croquis, à mão livre, a partir de pressupostos geométricos para definição da volumetria. Nestes croquis foram criadas então as primitivas gráficas que geraram o primeiro de uma série de três modelos tridimensionais que foram adotados para os três prédios do conjunto proposto. Após vários esboços, tendo consideradas prontas as idéias das primitivas geométricas os modelos foram então totalmente desenvolvidos com a utilização do *software* de modelagem “**3DStudio VIZ**”, um modelador tridimensional derivado do “**3DStudio MAX**” desenvolvido para o uso em arquitetura.

Segundo o autor, este programa, “além de facilitar a visualização espacial dos elementos tipológicos que compunham o modelo, permitiram a utilização de modificadores parametrizados⁹⁵ que ajudaram em muito a criação e modificação das primitivas geométricas e das soluções estruturais escolhidas”. Estes modificadores

⁹⁵ Modificadores parametrizados são comandos de edição aplicados a objetos tridimensionais criados, que permitem a sua modificação/deformação, a partir da introdução de parâmetros, que podem produzir curvaturas, inclinações, estiramentos, etc.

dão ao projetista inúmeras possibilidades na geração formal e, por serem parametrizados, também possibilitam o controle dos valores da deformação, o que é bastante útil na etapa de dimensionamento. Assim, o autor coloca que a “[...] possibilidade plástica de modificar parâmetros em tempo real causou um tremendo impacto no desenvolvimento da idéia, aumentando assim a complexidade da edificação”.

Desta forma, a partir de primitivas geométricas, foram gerados os modelos dos prédios. Por exemplo, para gerar o volume correspondente ao prédio 1, que deveria ter sua forma aproximada a de um navio, foi utilizada uma elipse como ponto de partida. À elipse foi aplicado o comando “*extrude*”, que a elevou a uma altura de oito metros, e logo a seguir foi aplicado o modificador “*bevel*”, que provocou uma deformação curva na elevação. Por último a forma foi seccionada de maneira a se adequar ao pré-dimensionamento e à idéia concebidos. Complementando a criação do prédio 1, foram definidos os elementos estruturais, sempre a partir do seu modelamento. Assim, foram distribuídos a uma distância média de 5 metros, pela base da elipse, retângulos que seriam a base dos pilares, que foram a seguir extrudados e deformados com o uso do modificador “*bend*”, de forma a deixá-los com arestas curvas, e por último estes foram inclinados a 45 graus. Com o objetivo de equilibrar o conjunto, após alguns estudos e consultas a especialistas em estrutura, decidiu-se pela colocação de vigas longitudinais ligando os pilares, e mais duas vigas transversais, conforme pode ser visto na figura 4.24. Os outros dois prédios tiveram um processo de criação semelhante, sempre iniciando pelo modelamento tridimensional partindo de primitivas simples, às quais foram aplicados comandos de geração de objetos tridimensionais, como o “*extrude*” ou o “*revolve*”, e de edição, como os modificadores já citados. As formas geradas iam sendo testadas, e reestudadas, até se chegar à forma definitiva, levando-se em conta questões estruturais, além do uso interno do espaço, suas relações com o entorno, implantação no sítio dentre outras (Figuras 4.25 e 4.26).

Prédio Anexo 01

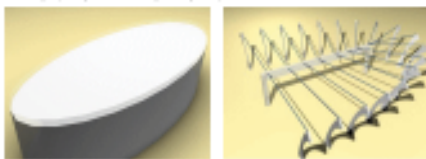


Figura 4.24: Projeto: Museu Salvador.
Desenvolvimento do prédio 1.
Aluno: Jaine Carvalho

Prédio Anexo 02

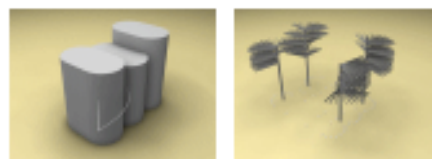


Figura 4.25: Projeto Museu Salvador.
Desenvolvimento do prédio 2.
Aluno: Jaine Carvalho.

Prédio Anexo 03

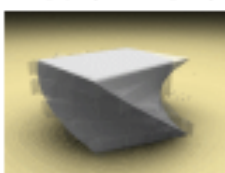


Figura 4.26: Projeto: Museu Salvador. Estudo para o prédio 3. Aluno: Jaine Carvalho.

O conjunto proposto pode ser visto nas figuras 4.27 e 4.28 a seguir. Para a documentação do projeto o modelo foi exportado para o *software* “**Arqui_3D**” que possibilita a geração de desenhos de plantas, cortes e fachadas, com as respectivas anotações, dimensionamento e cálculos de áreas.

Observa-se neste trabalho que o uso de ferramentas computacionais foi decisivo para o resultado formal da proposta. Não entrando no mérito da qualidade do projeto, que foge ao escopo desta tese, o relato da metodologia empregada evidencia que a utilização de ferramentas computacionais possibilitou a geração de formas complexas. Por outro lado é importante registrar que o então aluno já possuía conhecimentos avançados na utilização de várias ferramentas de auxílio ao projeto, sendo um dedicado pesquisador nas aplicações da informática no processo projetual. Assim, fica evidente a necessidade do conhecimento e domínio de várias ferramentas, em especial os *software* dedicados ao projeto de arquitetura e os modeladores tridimensionais, o que pode ser um fator de dificuldade para iniciantes na utilização deste ferramental.



Figura 4.27: Projeto: Museu Salvador. Aluno: Jaine Carvalho.

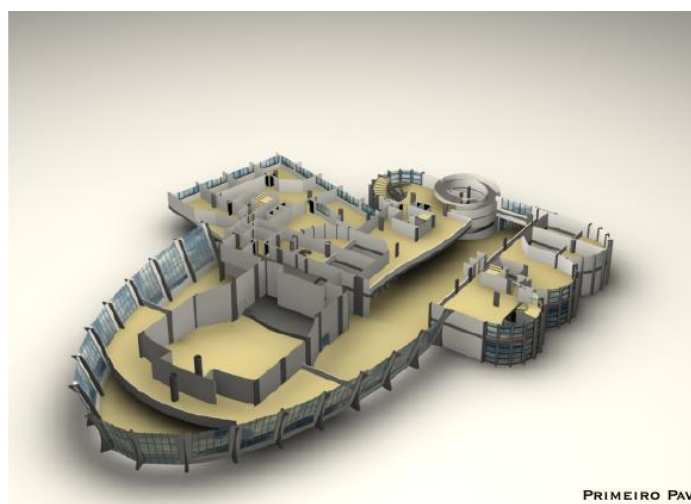


Figura 4.28: Projeto: Museu Salvador. Secção no nível do primeiro pavimento. Aluno: Jaine Carvalho.

h. Centro Cultural – Ateliê Cooperativo de Simulação Digital - Aluna: Cristina Cândia Trigo. 2002

A proposta deste trabalho foi projetar um Centro Cultural, contemplando os seguintes enfoques propostos para a disciplina: “Projeto onde a forma e/ou a estrutura sejam complexos”, e “Projetos onde os aspectos de iluminação natural / artificial sejam determinantes”.

Foram feitas simulações da volumetria exterior e da iluminação do cine-teatro, e empregados os seguintes *software* na execução do trabalho: **AutoCAD**, **Arqui_3D**, **Light Scape**, **PowerPoint** e **Accurender**.

A proposta formal teve como precedente o estudo do terreno e da sua localização no mesmo. A partir daí foram elaboradas várias opções formais, que partiram da composição de primitivos sólidos, como ilustrado na figura 4.29 a seguir:

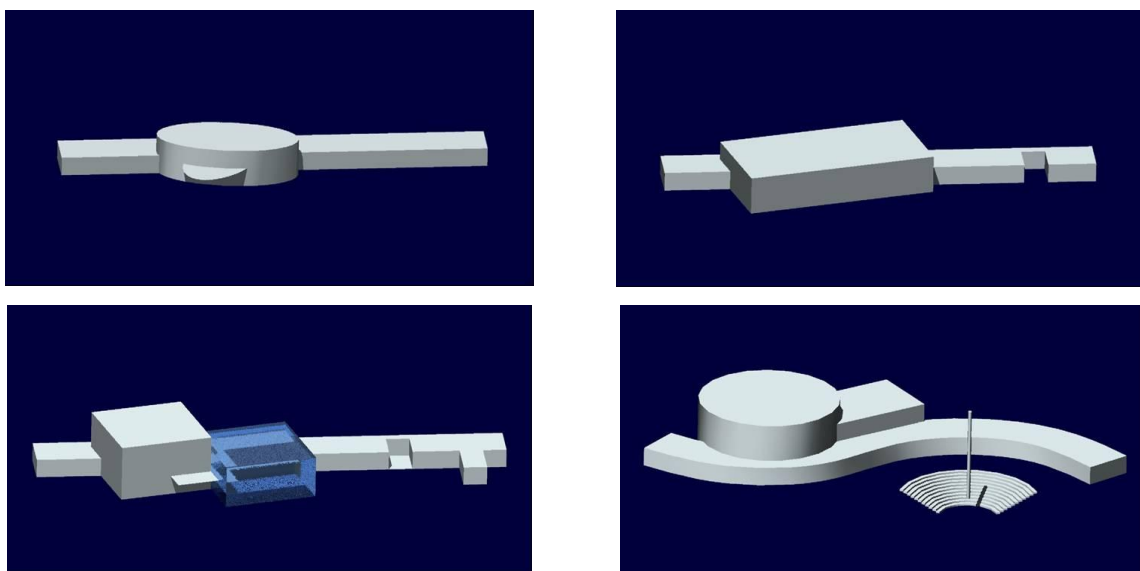


Figura 4.29: Projeto: Centro Cultural. Estudos de volumetria, com modelagem a partir de primitivos sólidos. Aluna: Cristina Trigo.

Dando seqüência, após os estudos de volumetria, foi escolhida uma das opções onde as funções estão em primitivos distintos, sendo portanto, considerada pela autora do trabalho como a forma mais adequada (Figura 4.30). Foi também efetuado um estudo da circulação externa e estacionamento, sempre trabalhando com o modelo tridimensional (Figura 4.31) e, finalizando, os estudos de iluminação para o teatro, através do uso da simulação (Figura 4.32).



Figura 4.30: Projeto:Centro Cultural. Forma escolhida, onde as funções estão em primitivos distintos.
Aluna: Cristina Trigo.



Figura 4.31: Projeto: Centro Cultural. Estudo de circulação externa e estacionamento. Aluna:
Cristina Trigo.



Figura 4.32: Projeto: Centro Cultural Estudos da iluminação do teatro, através de simulação.
Aluna: Cristina Trigo.

A autora observou que o processo de criação deu-se efetivamente através de ferramentas computacionais, e que experimentar novas alternativas de projeção e analisar os resultados obtidos foi bastante enriquecedor. Também considerou ter alcançado o objetivo proposto - desenvolver consciência crítica do uso das ferramentas computacionais no processo de projeção e capacitar a experimentação / viabilização / otimização / seleção de alternativas e projetos em função do problema proposto.

i. Centro de Esportes Aquáticos – Ateliê Cooperativo de Simulação Digital -
Aluno: Adriano Huoya Mariano. 2002

Neste trabalho, o autor partiu da “leveza” como principal conceito formal. Realizou o estudo formal também a partir de primitivas, com a proposta se desenvolvendo em dois volumes: um resultado do “cheio” (anexo onde estão os alojamentos e serviços para os atletas) outro do “vazio” (a concha onde acontecem as práticas esportivas), como ilustrado na figura 4.33.

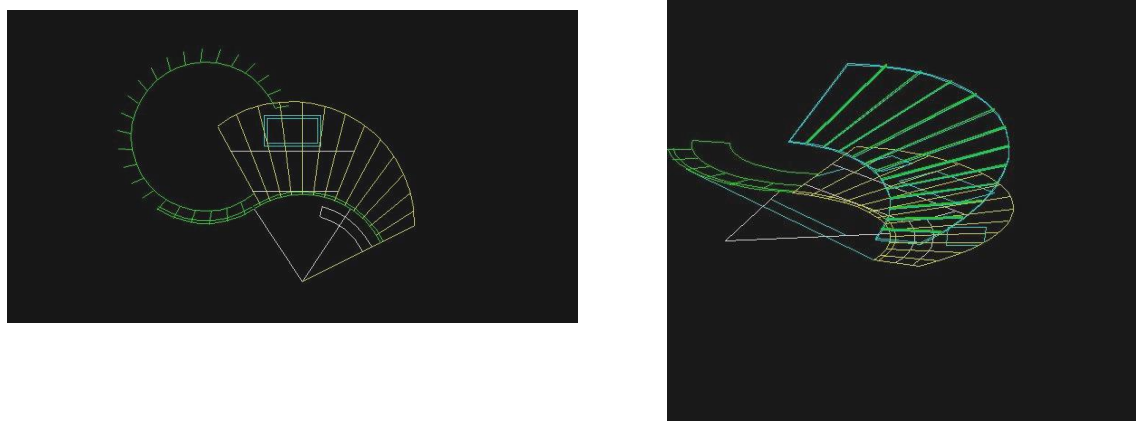


Figura 4.33: Projeto: Centro de Esportes Aquáticos. Estudo volumétrico, com modelagem tridimensional. Esquerda: Vista superior. Direita: Vista em perspectiva. Aluno: Adriano Huoya Mariano

Como a estrutura teria que vencer, segundo o relatório do aluno, um vão de 30 m, foram usados tirantes ancorados num pilar, de acordo com consultoria a estruturalista, feita durante a realização do ateliê (Figura 4.34).

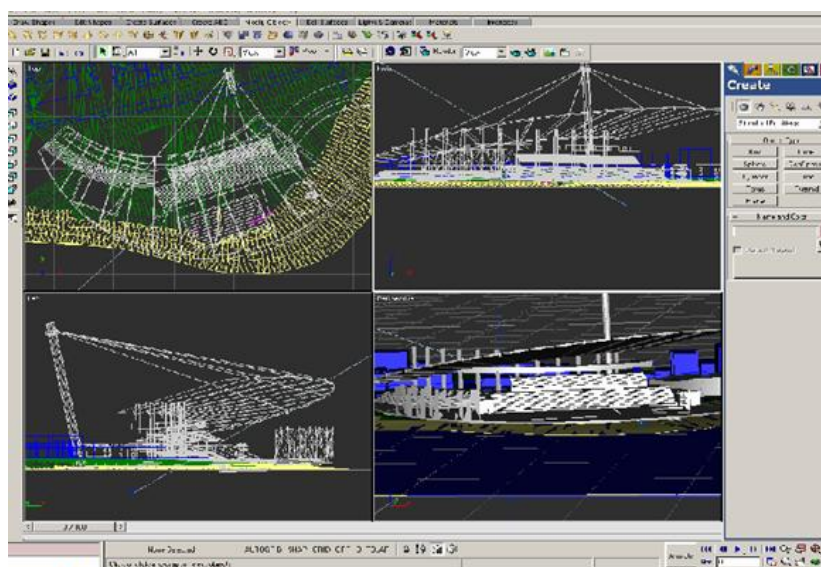


Figura 4.34: Projeto: Centro de Esportes Aquáticos. Reprodução da tela com os modelos usados no estudo estrutural. Aluno: Adriano Huoya Mariano

Os *software* utilizados foram o **AutoCAD** para a modelagem do edifício, o **3DStudio** para a modelagem do terreno, e o **Accurender** para o acabamento final do objeto. O modelo tridimensional do resultado final da proposta pode ser visto na figura 4.35.

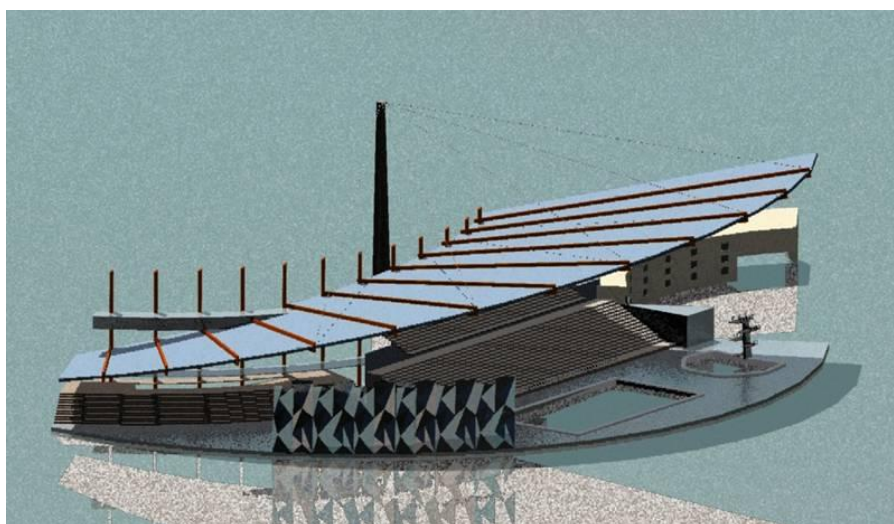


Figura 4.35: Projeto: Centro de Esportes Aquáticos. Modelo tridimensional da proposta final. Aluno: Adriano Huoya Mariano

j. Planetário – Ateliê Cooperativo de Simulação Digital - Aluna: Akemi Tahara. 2002

O projeto do Planetário partiu de estudos feitos em croquis, à lápis, que foram então “traduzidos” para o computador através de modelagem tridimensional com a

utilização de primitivos sólidos. As opções partiram inicialmente da composição de formas geométricas simples (Figura 4.36), tendo a concepção estrutural sido também estudada nesta fase (Figura 4.37).

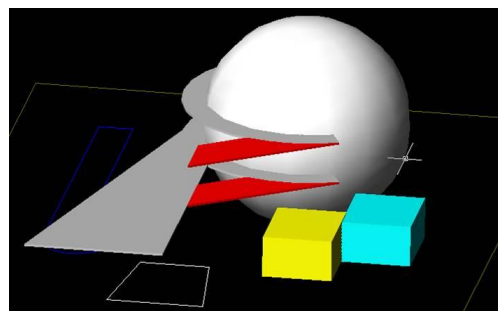
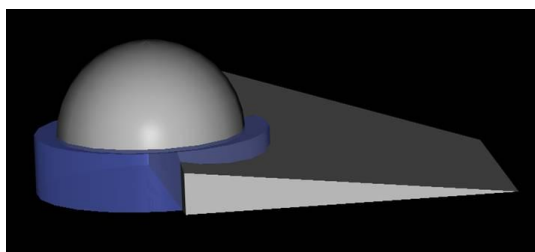


Figura 4.36: Projeto: Planetário. Estudos de volumetria, através do modelamento tridimensional com a utilização de primitivos sólidos. Aluna: Akemi Tahara



Figura 4.37: Projeto: Planetário. Evolução da proposta. Aluna: Akemi Tahara.

O resultado final pode ser visto na figura 4.38. A autora do trabalho, em seu relatório final, colocou que o uso da simulação computacional como processo de projetar resultou numa experiência inesperada quanto à metodologia de projeto arquitetônico. Considerou que o modelamento geométrico tridimensional contribuiu bastante na tomada de decisão projetual em alguns casos, como por exemplo, com relação à estrutura, pois possibilitou a verificação final do conjunto. Para a autora a

visualização do conjunto é imprescindível, e a cada avanço na resolução do objeto, o resultado se torna mais próximo ao pretendido. Com relação ao potencial da simulação, a autora utilizou este recurso inclusive para estudar o uso do espaço proposto como ilustra a figura 4.39 contribuindo, portanto, para perceber melhor os ambientes projetados.

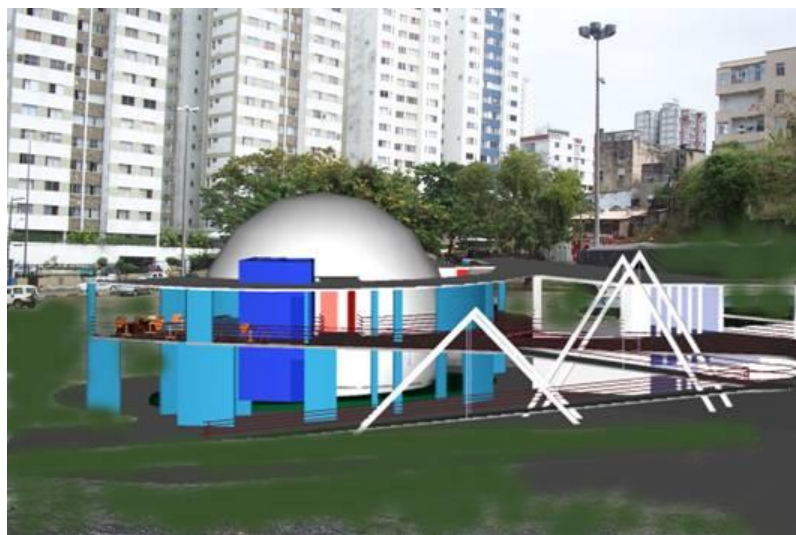


Figura 4.38: Projeto: Planetário. Modelo tridimensional com vista da proposta final, inserida no local.
Aluna: Akemi Tahara.

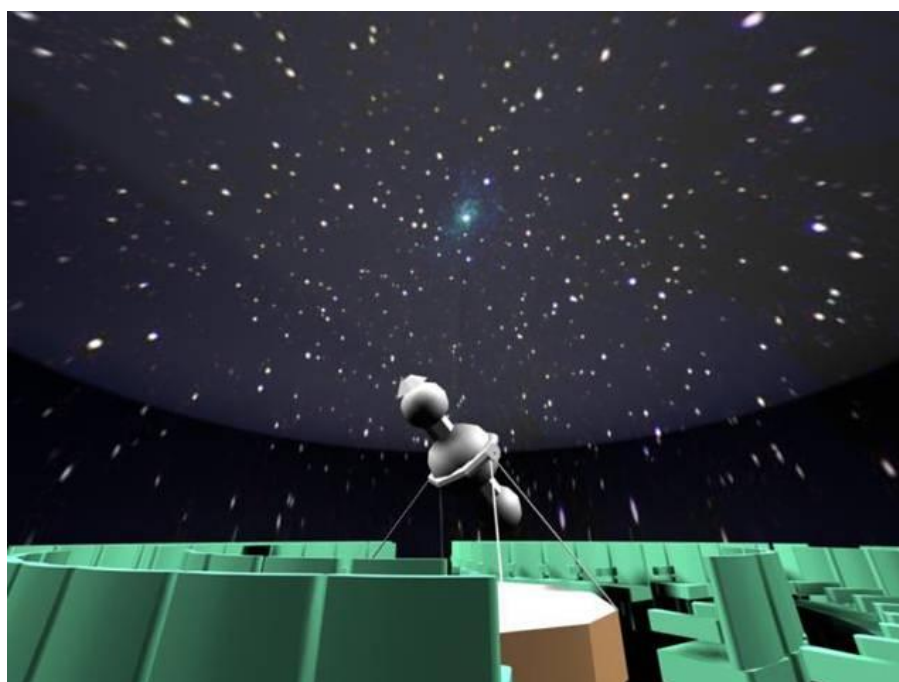


Figura 4.39: Projeto: Planetário. Simulação de espetáculo na sala de projeção. Aluna: Akemi Tahara.

k. Faculdade de Arquitetura. Ateliê III – Alunos: Andrei Miler Beramendi, Danielle Thomaz Ferreira e Diana Fialho de Queiroz / 1997

O tema proposto foi o “projeto de um espaço destinado à educação para a arquitetura no terceiro milênio”, e o título do trabalho apresentado foi “ARQUITETURA DA CONTINUIDADE – Concepção e execução numa mesma linguagem”.

O conceito que resultou na proposta apresentada foi de atender à uma proposta de ensino que não é mais

“relacionado (sic) a professores, matérias, aulas, grade curricular, semestres, anos. Um novo aprendizado do aluno, pelo aluno e para o aluno. [...] A faculdade se torna então um grande laboratório, uma fonte de pesquisa para novos e tradicionais conhecimentos. [...] Refletindo essa construção contínua do aprendizado está um espaço único que funde o que hoje dividimos em bibliotecas, ateliers, galerias de exposição. Nesse espaço indefinido, o circular, observar, pesquisar, discutir, criar, produzir se dão de forma única e constante. [...] A continuidade é a idéia central do projeto. A forma sem interrupções, limitações, definições. É o exemplo da cinta de Möebius, com uma única aresta, uma única superfície e infinita. [...] Piso, parede e cobertura também se confundem numa só estrutura. Esquadrias de vidro protegem o ambiente interno”.

Segundo os autores, a prioridade foi construir uma representação gráfica que viabilizasse a construção do edifício, tendo que para isto adaptar o conceito de projeto executivo.

“A concepção arquitetônica desse projeto nos leva a um novo modelo do que vem a ser um projeto executivo. Para tal, foi considerado como primordial a locação dos pontos da edificação que regem uma estrutura atípica e completamente desvinculada dos padrões geométricos convencionais. [...] Primeiramente, a estrutura foi estratificada em cortes e vistas, que de alguma forma pudessem guiar o(s) responsável(is) técnico(s) da obra a efetivar(em) o edifício. Cortes e vistas foram considerados suficientes para esse auxílio.”

Foram também elaborados cortes horizontais dos diversos “níveis” da edificação, análogos às plantas baixas convencionais. Esse processo foi de suma importância para o cálculo das áreas úteis de todo edifício e como forma de organizar a funcionalidade do espaço.

A localização do edifício no terreno foi feita a partir de um ponto (dito de origem da construção) que

“geodesicamente pode ser encontrado com facilidade através de aparelhos especiais ou apenas com mapas devidamente escalados. A partir desse ponto de referência foram determinados os eixos das coordenadas cartesianas xyz em relação ao norte geográfico, os diversos ângulos azimutais e entre alinhamentos e as distâncias diretas entre os pontos. Três eixos zenitais (paralelos ao eixo z) foram determinados e devidamente locados, com o intuito de auxiliar a execução das partes mais distantes da construção à origem”.

As figuras 4.40, 4.41 e 4.42 ilustram a descrição da proposta. Em entrevista com Andrei Miler, realizada em 17 de março de 2005, foi passada a informação de que a forma foi modelada no *software 3D Studio* e depois foi formada uma malha geométrica e determinadas as coordenadas dos “nós” dessa malha, que foi então exportada para o **AutoCAD** onde foram feitos os desenhos de plantas, cortes e vistas. Segundo o aluno, o computador foi essencial para viabilizar a representação gráfica da superfície proposta. Sem o uso das ferramentas CAD, seria inviável a representação precisa dos pontos definidos da superfície.

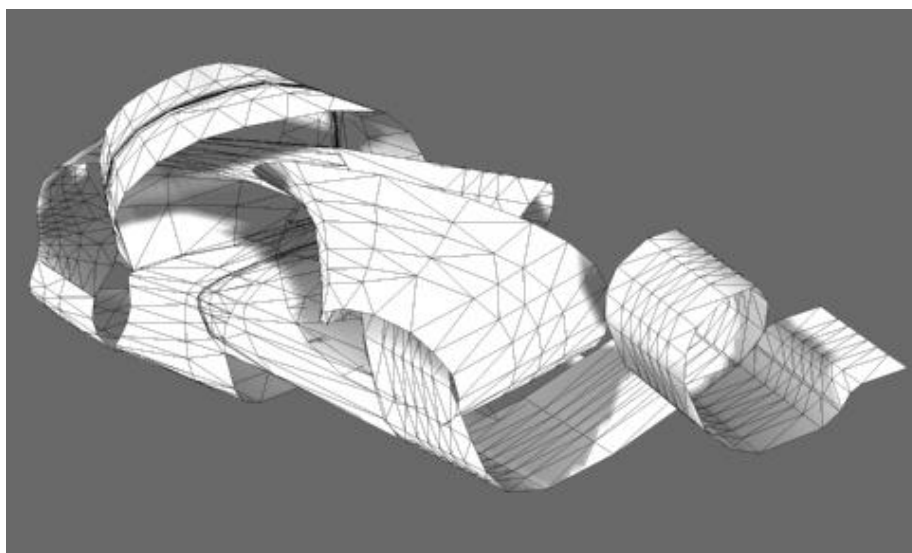


Figura 4.40: Projeto: Faculdade de Arquitetura. Modelo tridimensional da proposta final com vista da malha tridimensional. Alunos: Andrei Miler, Daniele Ferreira e Diana Fialho.

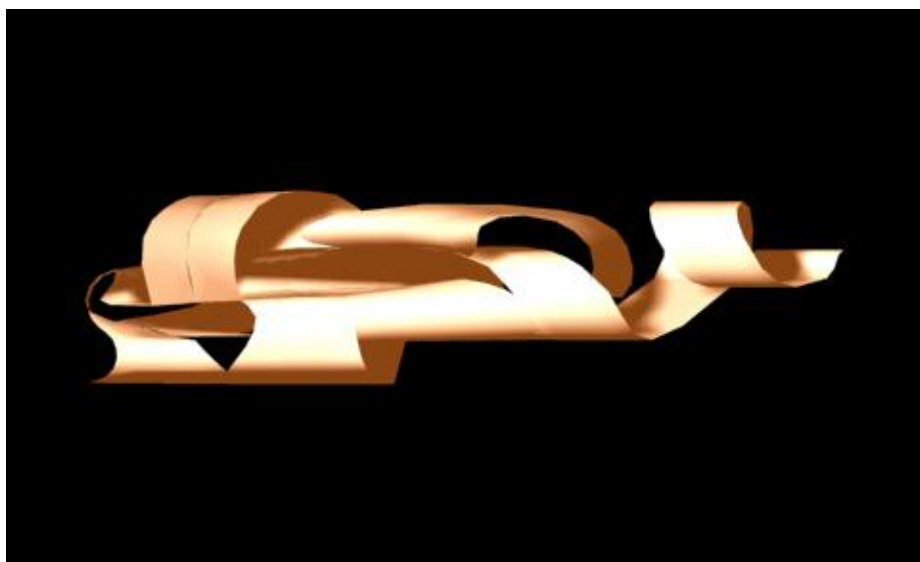


Figura 4.41: Projeto: Faculdade de Arquitetura. Modelo tridimensional renderizado da proposta final. Alunos: Andrei Miler, Daniele Ferreira e Diana Fialho.

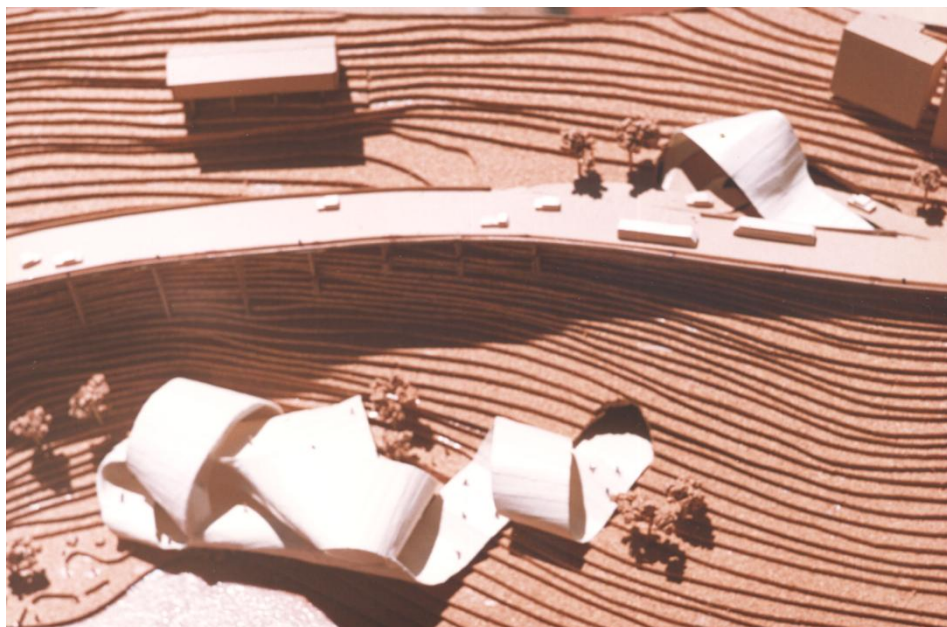


Figura 4.42: Projeto: Faculdade de Arquitetura. Maquete da implantação. Alunos: Andrei Miler, Daniele Ferreira e Diana Fialho.

4.4 COMENTÁRIOS

A produção discente, pelo que foi visto, com exceção de alguns trabalhos, não reflete ainda uma apropriação da ferramenta computacional em todo o seu potencial. Apenas com relação à representação gráfica bidimensional, enquanto produção dos desenhos técnicos, ou enquanto ferramenta de documentação e apresentação, observa-se que seu uso já está amplamente disseminado e apropriado pelos alunos.

Os docentes de projeto tem visões diferenciadas. A maioria ainda não conhece o potencial da ferramenta enquanto instrumento de projeto e, acredita-se que por isso, não incentiva a sua utilização. Alguns, ao contrário, até desestimulam, tendo uma visão que este instrumental tolhe a criatividade, inibe os desenhos à mão livre, os estudos em croquis, que eles consideram ser a ferramenta ideal para a concepção do projeto. Outros, ainda, percebem que o uso deste ferramental é inevitável e até acreditam que benéfico ao exercício do projeto, mas não sabem como orientar seus alunos na sua aplicação. Faltam métodos direcionados para a integração da ferramenta computacional ao projeto. Muito poucos conhecem o potencial da ferramenta, e mesmo estes sentem falta destes métodos. Assim, faz-se necessária a discussão entre os docentes de projeto e os de informática aplicada no sentido de

construir uma metodologia de trabalho, e que passa pelo treinamento dos docentes. Não que os docentes de projeto tenham que aprender a trabalhar com as ferramentas computacionais, mas que pelo menos conheçam suas características, suas propriedades, aplicações, enfim, seu potencial, para que possam então orientar seus estudantes na aplicação destas no processo de projeto.

A produção discente que se distinguiu por propostas formais arrojadas poderia ser considerada pequena, mas levando-se em conta todo o conjunto de condições que foi apresentado – falta de equipamentos à disposição dos estudantes, pouco estímulo durante o curso e disciplinas de Informática aplicada sem integração com as outras disciplinas do curso, em especial com projeto, acredita-se ser positivo o fato de que alguns estudantes conseguiram se apropriar deste ferramental como instrumento de projeto.

É óbvio que a ousadia formal não implica em qualidade do projeto, mas sendo a forma um dos aspectos considerados, e sendo também a análise de sua produção frente à utilização das tecnologias computacionais o objeto desta tese, é alvissareiro encontrar trabalhos feitos com auxílio das ferramentas computacionais que vão nesta direção de explorar formas não convencionais.

Além do mais, considera-se também que a escola de arquitetura é local apropriado no sentido de desenvolver trabalhos de cunho exploratório, local de experimentações, de dar vazão às idéias, por mais inusitadas que sejam, cuja pesquisa deve ser incentivada, em paralelo, é claro, com a crítica voltada para a qualidade da arquitetura que está sendo produzida. E, neste caminho de explorações formais, ficou evidente que as ferramentas computacionais tem um papel facilitador e até viabilizador.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inúmeros são os elementos, variáveis e condicionantes envolvidos no estudo da produção da **forma** em arquitetura. Este trabalho procurou centrar-se apenas na abordagem de alguns desses elementos. Um resumo dos principais pontos observados é feito a seguir.

- **Sobre o processo de projeto em ambiente computacional**

Com o surgimento das ferramentas computacionais e a introdução das ferramentas CAD, os instrumentos usados no projeto de arquitetura foram sendo substituídos. Inicialmente, as ferramentas CAD foram utilizadas apenas como instrumentos de desenho, na elaboração da documentação do projeto e, logo em seguida, na produção de modelos tridimensionais, as “maquetes virtuais”, então utilizadas apenas como recurso de apresentação da solução projetual. Nesta fase, observa-se que, apesar de pequena, já existe uma interferência das ferramentas computacionais no processo de geração da forma. Esta se dá no sentido de que agiliza as construções geométricas da representação da forma arquitetônica, dá maior precisão aos desenhos, além do que as facilidades que o instrumental proporciona na realização de alterações na proposta, implicam também em um maior número de opções formais. Além disso, a facilidade na construção dos modelos geométricos tridimensionais possibilita que este se torne também um elemento de tomada de decisão no processo de projeto. A análise do modelo pode

resultar em nova(s) proposta(s), num processo de ir e vir até se chegar à solução final.

Observou-se contudo, que a utilização das ferramentas CAD apenas como editores de desenho de documentação e apresentação é, na verdade, uma sub-utilização da ferramenta. Se utilizadas em todo o seu potencial, podem se transformar em instrumentos de concepção e validação do projeto. E, neste caso, sua influência na produção da forma torna-se maior, em algumas situações, até decisiva, como por exemplo, nas recentes experiências que vem sendo realizadas por arquitetos, onde a partir da introdução de dados específicos em determinados *software* são geradas formas, na maioria das vezes complexas e inusitadas, sendo o arquiteto inglês Greg Lynn um dos pioneiros neste campo experimental.

Quando utilizadas como ferramenta de projeto, sua interferência no resultado formal pode ser verificada em vários aspectos. Inicialmente, viabilizando o uso de superfícies complexas ao permitir a sua representação, até então raramente utilizadas em projetos arquitetônicos, já que uma das razões para a sua não utilização é justamente a dificuldade em representá-las usando-se o instrumental tradicional de desenho.

O sistema projetivo no qual se baseiam os desenhos técnicos normatizados exigidos para a compreensão do projeto por parte de todos com ele envolvidos, desde o(s) projetista(s) e cliente(s) até o(s) construtor(es), tem como princípio projetar perpendicularmente ao plano de projeção (ver Capítulo 1, item 1.2.2, que aborda a Geometria e o seu estudo). Isto faz com que apenas superfícies planas possam ser projetadas em verdadeira grandeza, ou seja, com seus formatos e dimensões reais. Daí a dificuldade em representar as superfícies curvas e aquelas que não são planificáveis, tais como a esfera, os helicóides, os parabolóides além de outras superfícies irregulares como aquelas que tentam se aproximar das formas da natureza, também chamadas de “orgânicas”. As superfícies não convencionais, quando modeladas tridimensionalmente, tem a possibilidade de terem suas representações bidimensionais extraídas diretamente do modelo, sem a

necessidade de serem construídas linha por linha, num processo também de pouca precisão como quando são utilizados os meios tradicionais de desenho.

Além do mais, o modelo traz a possibilidade de extração de diversas informações a respeito do objeto, como cálculos de área, do volume e, a depender do programa utilizado no modelamento, superfícies extremamente complexas podem ter a sua geometria representada bidimensionalmente, pois a partir de equações, qualquer ponto sobre sua superfície pode ser definido. Exemplos de programas com essa propriedade são o **CATIA** e o **Rhinoceros**. E, justamente por esta propriedade, de modelagem de formas complexas, vem sendo utilizado em projetos de formas com estas características.

Outro aspecto a ser considerado é a possibilidade de, a partir do modelo geométrico tridimensional, serem efetuadas simulações de ventilação, iluminação e comportamento estrutural, dentre outras, e que são de grande importância para a validação da proposta projetual.

Assim, verificou-se que o uso da tecnologia CAD na produção da forma é inquestionável, pela facilidade que o computador proporciona de experimentar formas e em construir representações de objetos complexos. Não que a criatividade esteja diretamente relacionada ao uso do computador, ou seja, não significa que ao usar o computador o projetista fique mais criativo, mas percebe-se neste uma maior pré-disposição para estudar alternativas de projeto diante das facilidades tecnológicas à sua disposição.

Ao se utilizar as ferramentas CAD como instrumento de projeto, um aspecto que foi observado é que projetar em um ambiente computacional implica numa nova maneira tanto de conceber quanto de representar o projeto e, para que a ferramenta seja usada com toda a sua potencialidade, são necessárias novas habilidades por parte do projetista, tais como o domínio da ferramenta, maior velocidade de raciocínio, planejamento e visão global do processo. Logo, para um uso eficiente e eficaz das ferramentas CAD, é preciso ir além de aprender a usar todos os recursos do *software*. É essencial também assimilar os novos conceitos de projeto trazidos

pelas tecnologias CAD e não apenas transferir a “metodologia de trabalho” na prancheta para o computador.

Ao observar a arquitetura produzida em ambiente computacional, em especial aquela onde os condicionantes do projeto permitem, às vezes até requerem, o uso de formas não convencionais, verificou-se que o uso das ferramentas CAD favoreceu a exploração formal. Em alguns projetos como o do Pavilhão da Água, na Holanda, o uso das tecnologias computacionais se deu em toda a concepção do projeto, onde a interatividade do edifício com os visitantes é mediada por *software*, que fazem com que a forma seja alterada em função de movimentos que são feitos pelos usuários.

Assim, fica evidente o fato de que a arquitetura produzida em meio computacional encontra um ambiente propício para explorações formais, em especial das formas não convencionais.

- **Sobre as ferramentas CAD**

As ferramentas CAD genéricas, que foram intensamente utilizadas no início da adoção destas tecnologias no processo de projeto, estão sendo aos poucos substituídas pelas ferramentas dedicadas, não apenas por facilitarem os desenhos, mas também por serem mais apropriadas ao processo de projeto, já que muitas delas são concebidas para operar como se estivessem “construindo virtualmente” o edifício.

Com relação à produção de formas complexas, as pesquisas e trabalhos que vem sendo desenvolvidos por diversos arquitetos no sentido de utilizar ferramentas de modelamento, inclusive aquelas concebidas para a indústria mecânica (aeronáutica, automotiva e de *design* de produtos, principalmente), como o **CATIA** e o **RHINOCEROS**, tem tido um resultado positivo, sendo exemplares a utilização do primeiro por parte do escritório de Frank Gehry e do segundo nas experiências da ESARQ, como foi visto no Capítulo 3.

- **Sobre a produção discente na FAUFBa.**

A introdução da Informática nos cursos de arquitetura no Brasil é um reflexo do que acontece na prática profissional: tem sido utilizada como uma simples ferramenta de desenho na maioria dos casos, e em menor escala, como ferramenta de projeto.

Inicialmente a adoção das ferramentas CAD se deu por uma necessidade das escolas em oferecerem aos alunos uma preparação, ou pelo menos uma complementação atualizada no que diz respeito ao ferramental e, no caso da FAUFBa, esta se deu antes mesmo da apropriação delas no campo profissional na região. Entretanto o que se observou foi que, nesta Instituição se perdeu a oportunidade de avançar, ficando a utilização do ferramental nos trabalhos discentes defasada em relação à realidade do que já está sendo disponibilizado em termos de tecnologia e utilizado por diversos profissionais. O que se observou após oito anos de obrigatoriedade da disciplina na FAUFBa, foi que as ferramentas CAD ainda estão sendo utilizadas predominantemente como editores de desenho.

Entretanto, trabalhos discentes da FAUFBa que foram apresentados com destaque nesta tese, por terem proposto formas não convencionais, demonstraram que o uso do computador foi importante desde a etapa de concepção, nos seus estudos formais, e em dois casos, decisivo. Estes trabalhos, embora em número pequeno, diante das dificuldades que foram encontradas pelos alunos na apropriação deste ferramental durante o curso de arquitetura, são representativos de que as ferramentas computacionais, quando exploradas em seu potencial, são um importante instrumento de geração formal.

As condições de infra-estrutura para se trabalhar com computação na FAUFBa hoje, também não são as ideais. Há um número insuficiente de salas com equipamentos em condições de uso, que atualmente não atendem adequadamente nem as disciplinas obrigatórias de Informática Aplicada e Expressão Gráfica, que dependem destes equipamentos para o cumprimento de seus objetivos e conteúdos programáticos. E, neste caso, o que foi observado é que a questão crucial é relativa à manutenção e atualização dos equipamentos e programas. As salas para aula

com recursos de informática são montadas, mas não há uma política em nível federal que garanta a sua necessária manutenção, e o que se observa tanto nas salas quanto nos laboratórios é o completo sucateamento do seu parque tecnológico. Esta situação se reflete na elaboração dos planos de curso, já que os professores ficam sem estímulo para acompanhar o estado da arte.

No que diz respeito às disciplinas de Informática, observa-se que o seu ensino no curso de Arquitetura e Urbanismo da FAUFBA caracteriza-se do ponto de vista teórico conceitual pela discussão das tecnologias CAD e do ponto de vista prático, por ser instrumentalizante principalmente nas técnicas de desenho e modelagem tridimensional, de projetos que já estão previamente definidos a partir de croquis e/ou de estudos preliminares.

A aplicação das tecnologias CAD como ferramentas dedicadas ao projeto deveria se dar durante os exercícios desenvolvidos nos ateliês, o que não acontece. Vários são os motivos para que isso não ocorra. Existe uma falta de motivação por parte dos docentes, que pode ser explicada em parte pelo seu desconhecimento do potencial destas ferramentas e em parte por preconceito, já que muitos consideram o desenho feito em CAD “feio”, “duro”, sem expressar a “alma do arquiteto”. Por outro lado, a falta de infra-estrutura adequada também inibe o trabalho no ambiente computacional. Estas são dificuldades que devem ser transpostas se o objetivo for formar profissionais em sintonia com a realidade tecnológica que o campo profissional necessita. Entretanto, foge ao escopo deste trabalho aprofundar essa linha de investigação.

Como última observação, para que o uso do computador no processo de projeto tenha resultados eficientes e eficazes, é necessário não esquecer o domínio sobre a tecnologia. Quanto maior este domínio, em princípio melhores serão os resultados que ele poderá obter. Assim, durante a formação do arquiteto, a maneira e a ênfase com que as tecnologias CAD são apresentadas aos alunos irá influenciar no modo como irá delas se apropriar e, por conseqüência, nos resultados de sua aplicação.

CONCLUSÕES

A observação da produção arquitetônica apresentada neste trabalho, confirma a hipótese inicialmente lançada, de que a utilização das ferramentas CAD no processo de projeto não apenas facilita como tem influência decisiva na produção de formas arquitetônicas não convencionais, em especial quando são usados os recursos da modelagem tridimensional e da simulação digital.

Esta influência é maior quando a ferramenta é utilizada em todo o processo de projeto, da concepção ao projeto executivo. Entretanto, pode-se afirmar que, mesmo quando as ferramentas computacionais são usadas apenas como instrumentos de desenho e apresentação, elas interferem na produção da forma arquitetônica, na medida em que ao agilizarem os processos de desenho e viabilizarem a representação de formas complexas, possibilitam uma maior exploração formal .

Quando se usa a modelagem tridimensional, a principal alteração na produção da forma é que o projeto é concebido a partir da volumetria o que possibilita soluções formais menos convencionais do que se observa quando o projeto é concebido a partir de estudo bidimensionais, na maior parte das vezes, a partir da planta baixa.

O uso modelamento tridimensional permite uma maior exploração formal na etapa de concepção e, a possibilidade de gerar os desenhos de documentação a partir de recursos automatizados do próprio *software* ou ao se trabalhar em conjunto com outros programas, aliadas às simulações que podem ser feitas e às informações que podem ser extraídas do modelo, viabilizam a produção de formas não convencionais.

Com relação ao curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUFBa, observou-se que este ainda não se apropriou do ferramental computacional enquanto instrumento de projeto nos ateliês. A decisão de usar ou não as ferramentas CAD no processo de projeto é de inteira responsabilidade do aluno, com raras exceções, como o Ateliê Cooperativo de Simulação Digital, por razões óbvias.

Os discentes que utilizam este ferramental o fazem, na sua grande maioria, em seus equipamentos pessoais, por iniciativa própria e, como instrumento de tradução de idéias formais pré-concebidas através de meios convencionais. A maior parte utiliza o computador apenas para a elaboração dos desenhos, e a produção da forma segue os procedimentos tradicionais: a idéia inicial é desenvolvida em planta baixa e o volume é uma consequência da composição desta com as fachadas e a cobertura.

Não há qualquer tipo de integração das disciplinas de informática com as de projeto, ainda que estas sejam ministradas pelo mesmo departamento. No que pese as primeiras serem instrumentalizantes, não há uma articulação entre os seus conteúdos e o que é desenvolvido nas disciplinas de representação gráfica e projeto arquitetônico. Institucionalmente, inexistem nos ateliês de projeto uma compreensão da utilização deste ferramental como instrumento projetual. As decisões neste sentido são baseadas em posições individuais e vão desde a proibição do uso deste ferramental até a exigência de que os desenhos em uma determinada etapa sejam realizados em suporte computacional. Assim, são encontradas situações onde, em uma determinada turma do ateliê, os seus responsáveis, por razões pessoais, entendem que os alunos podem e/ou devem utilizar as ferramentas CAD e recomendam que assim o façam, mas sem nenhuma orientação da parte dos docentes de “como” essas ferramentas podem e devem ser utilizadas.

Pela análise dos trabalhos discentes apresentados, verifica-se que a adoção do ferramental computacional ainda está restrita ao seu uso enquanto instrumento de produção de desenhos, o que impede que haja um reflexo maior na produção formal. Mesmo aqueles alunos que já cursaram a disciplina Informática Aplicada II, que trabalha com recursos de modelagem e de acabamento, não sabem como utilizar estes recursos como ferramenta de projeto, como auxílio na concepção e não apenas como editor de desenho. Entretanto, os trabalhos discentes destacados nesta tese, demonstraram que, quando o aluno utiliza adequadamente a ferramenta, as propostas formais são definitivamente não convencionais.

No que diz respeito às ementas e metodologias de trabalho dos ateliês não há um entendimento de que estas ferramentas são instrumentos projetuais e, como tal,

devem ser apropriadas. O que requer inclusive a adoção de métodos e procedimentos adequados à ferramenta, e que ainda não estão definidos.

A não apropriação do ferramental computacional no processo projetual na FAUFBa pode ser explicada por razões que envolvem os docentes mas também por questões de ordem operacional. No primeiro caso, a falta de motivação para esta apropriação pode ser explicada em parte pelos docentes desconhecerem o potencial destas ferramentas e em parte por preconceito, já que muitos consideram o desenho feito em CAD “feio”, “duro”, sem capacidade de expressar a “alma do arquiteto”. Por outro lado, a falta de infra-estrutura adequada também inibe o trabalho no ambiente computacional. Estas são dificuldades que devem ser transpostas se o objetivo for formar profissionais em sintonia com a realidade tecnológica que o campo profissional necessita.

Estas questões podem ser superadas a partir da construção de um projeto de curso onde sejam reformuladas as suas disciplinas, de maneira a incorporar o ferramental computacional em todas as etapas do projeto, em especial nos ateliês sendo, portanto, também repensadas as suas metodologias, abordagens e procedimentos, priorizando a integração das mesmas.

Por outro lado, não se está colocando a questão formal como objetivo principal do projeto, mas observando-se a mesma como um de seus aspectos, e assim é necessário evitar que, por conta das facilidades e do fascínio que as novas tecnologias proporcionam, sejam propostas formas de maneira gratuita, tendendo em alguns casos para formas escultóricas, onde não estão agregados valores nem ideiação arquitetônica, onde a qualidade da arquitetura que está sendo produzida não seja levada em conta, ou seja, apenas a imagem seja a preocupação do projetista.

RECOMENDAÇÕES

Para que as ferramentas CAD sejam incorporadas ao ensino de maneira mais efetiva, em especial nas disciplinas de projeto de arquitetura, é necessário além do

conhecimento a respeito dos programas, um treinamento dos seus professores, no sentido de que seja criada uma “metodologia de projeto” adequada ao uso da ferramenta. Esta deve levar em conta o uso das tecnologias CAD sem perda da capacidade crítica à arquitetura produzida.

Assim, nesta perspectiva e diante do que foi exposto no corpo deste trabalho, recomendam-se caminhos que apontam para:

- Entender a Modelagem Tridimensional e a Simulação Digital como meios a serem usados no processo de projeto e não como produtos deste, ou seja, utilizar o ambiente computacional como ambiente de projeto, fazendo com que os modelos obtidos sejam objeto de estudos de alternativas formais;
- Maior integração das disciplinas de Informática Aplicada com as outras do curso, em especial com aquelas de projeto;
- Buscar, junto à administração da Universidade, ampliar na FAUFBA o número de salas de aula equipadas adequadamente com computadores e projetores multimídia, em um quantitativo a ser discutido pelos coordenadores dos cursos e chefes dos departamentos envolvidos;
- Ampliar a oferta de equipamentos no Laboratório de Usuários da FAUFBA, para um mínimo de 20 computadores, com configuração adequada para o trabalho com programas gráficos, de maneira que os alunos tenham melhores condições para realizar seus trabalhos acadêmicos;
- Incentivar a pesquisa sobre o uso de ferramentas computacionais como auxílio ao projeto, estimulando a crítica à arquitetura assim produzida, bem como a formulação de novas metodologias de projeto e, por conseguinte, definindo seus novos paradigmas;
- Criar condições para um permanente intercâmbio entre os pesquisadores e professores de Informática Aplicada e os discentes das outras disciplinas, no sentido de construir e consolidar os caminhos mais adequados à apropriação do ferramental computacional no processo de projeto.
- Retomar a oferta do curso de especialização em Projeto Auxiliado por Computador, cujo conteúdo faz parte de uma linha de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFBA, e cuja continuidade

reforça a criação de uma área de concentração em Projeto de Arquitetura, adequada à discussão sobre a utilização das ferramentas CAD no processo de projeto.

DESDOBRAMENTOS E CONTINUIDADE

A pesquisa sobre a adoção das ferramentas CAD no processo de projeto em arquitetura, aí incluída a produção da forma, deve ter continuidade. Neste sentido, existem ainda questões que não estão suficientemente esclarecidas e estudadas e que pretendemos que sejam objeto de pesquisas futuras. São elas:

- Revitalização de grupo de pesquisa sobre a reestruturação das disciplinas de representação gráfica, com vistas a sua permanente crítica e atualização frente à inserção da tecnologia computacional;
- Continuidade e aprofundamento das pesquisas sobre as ferramentas CAD, tendo em vista ser importante uma análise com caráter mais prático das propriedades e aplicações dos diversos programas existentes de auxílio ao projeto e de modelagem.

* * * * *

Finalizando, observou-se ao longo deste trabalho que a tecnologia computacional tem importante papel na produção da forma dos objetos arquitetônicos. Entretanto, para sua apropriação se dar de maneira completa, são necessários, no caso dos profissionais que, além de equipamentos adequados aos objetivos, seja feito um investimento nos recursos humanos com o treinamento e atualização dos profissionais que utilizam os programas, além de um bom suporte técnico aos equipamentos. Tudo isso com base em um planejamento do processo de projeto que leve em conta o ferramental que será utilizado. Em se tratando da esfera acadêmica, a apropriação destas tecnologias em contínua e acelerada evolução, tanto como instrumento didático como instrumento de projeto necessita além dos

recursos físicos citados nas recomendações, que sejam feitas mudanças nas disciplinas envolvidas, no caso as de Projeto, Informática Aplicada e Representação Gráfica, tanto de carácter metodológico como de revisão de seus paradigmas. E, mais importante ainda, é preciso que haja uma mudança na postura dos docentes, no sentido de realmente se decidirem pela apropriação das ferramentas computacionais no ensino da arquitetura, processo este já iniciado e irreversível. E, neste caso, deve ficar claro que se está falando do projeto de arquitetura como um todo, mas do qual a **forma** faz parte, sendo o seu aspecto mais visível, e que tem sido de maneira contundente atingido pela inserção do ferramental computacional.

BIBLIOGRAFIA

REFERÊNCIAS

AMORIM, Arivaldo L. *Tecnologias CAD no ensino de Arquitetura e Engenharia*. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997. 215 p.

_____. *Modelamento tridimensional*. Salvador: Imagem, Consultoria e Informática Ltda., 1999. Apostila.

ANDRADE, V. H. M.; AMORIM, A. L. de; PEREIRA, G. C. Ensino de Projeto Arquitetônico e CAD: Uma Experiência Piloto. In: Simpósio de Computação Gráfica em Arquitetura, Engenharia e Áreas Afins, 2. 1994, Salvador. *Anais ...* Salvador: UFBA / Faculdade de Arquitetura / Departamento II, 1994. p 143-148.

ANTIQUEIRA, Vagner. A dimensão Fractal. In: <www.geocities.com/antiqueira/geometrifractal.html>. Acesso em 28 abr. 2002.

ATIQUÉ, R. G. W. *Geometria*. Disponível em: <<http://www.icmc.sc.usp.br/~rwik/geometria.pdf>>. Acesso em 06 jul. 2003.

BARSKI, J. et al. *Caderno Didático – Introdução ao Estudo da Forma Arquitetônica*. Rio de Janeiro: UFRJ. Disponível em: <<http://www.fau.ufrj.br>>. Acesso em ago. 2002.

BORGES, M.M. Formas de Representação do Projeto. In: NAVEIRO, R. M.; OLIVEIRA, V.F.(org) *O Projeto de engenharia, arquitetura e desenho industrial*. Juiz de Fora: Ed.UFJF, 2001. p.96.

BROADBENT, G. *Diseno Arquitectónico – Arquitectura y Ciencias Humanas*. Barcelona: Gustavo Gilli, 1974.

BRUGGEN, Coosje V. *Frank Gehry. Museu Guggenheim Bilbao*. The Solomon R. Guggenheim Foundation, New York & FMGB Guggenheim Bilbao Museo, 1997

BUENO, Francisco da Silveira. *Dicionário da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: FENAME, 1975.

- CARDOSO, C. A. P. *A Forma no currículo do curso de Arquitetura da UFBA*. 1992. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura. Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- CARNEIRO, A.; CHECCUCCI E. de S. *Novas Tecnologias X Novas Metodologias de Trabalho – Adequação ao Projeto Auxiliado por Computador*. Vol. I: Artigos Técnicos. Salvador, 1996. Xeroc.
- CHING, F. D. *Arquitectura: Forma, espacio y orden*. Trad. Santiago Castán. México: Gustavo Gilli, 1982.
- CORONA, Eduardo & LEMOS, Carlos A. C. *Dicionário de Arquitetura Brasileira*. São Paulo: EDART, 1972.
- COSTA, M. D.; COSTA, A. V. *Geometria Gráfica Tridimensional. Vol 1 – Sistemas de Representação*. Recife: Editora Universitária da UFPE, 1996.
- CRAWFORD, Paulo. *O Espaço-tempo Curvo da Relatividade Geral*. Disponível em: <http://cosmo.fis.fc.ul.pt/~crawford/artigos/cc_sr/node2.html>. Acesso em 06 jul. 2003.
- DANTAS, J. R. CAD, Arquitetura e uma Nova Geometria. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL COMPUTAÇÃO, ARQUITETURA E URBANISMO. 1992, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 1992. p. 115-125.
- DUARTE, Fábio. *Arquitetura e Tecnologias de Informação: da Revolução Industrial à Revolução Digital*. São Paulo: FAPESP: Editora da UNICAMP, 1999.
- EICHEMBERG, A. T. A Interface Digital na Arquitetura. *Revista AU*, Ano 18, nº 109, p. 73-77, abr. 2003.
- ENGEL, Heino. *Sistemas Estruturais*. Versão portuguesa de Esther Bueno da Silva, arqtª. Revisão: Carla Zollinger, arqtª. Barcelona: Gustavo Gilli, 1997.
- ESTEVEZ, A. *Arquitecturas genéticas: el nuevo proyectar ecológico-medioambiental y el nuevo proyectar cibernético-digital*. Disponível em <www.unica.edu/esarq/geneticarq>. Acesso em 10 mar. 2004.
- EVES, Howard. *Tópicos de História da Matemática para uso em sala de aula – Geometria*. Trad. De Hygino H. Domingues. São Paulo: Atual, 1992.
- FERREIRA, M. A. G. V. *Modelamento Geométrico de Sólidos: Principais Conceitos e Representações*. São Paulo, EPUSP – Departamento de Computação e Sistemas Digitais. Apostila.
- GEOMETRIA Analítica I. Disponível em: < <http://www.terra.com.br/matematica/arg6-1.htm>> . Acesso em 06 jul.2003.
- GEOMETRIA DOS FRACTAIS. Disponível em: <<http://www.geocities.com/antiqueira/geometrifractal.htm>>. Acesso em: 28 abr. 2002.
- GUERREIRO, V. Abuse do micro sem largar a prancheta. *Revista Arquitetura CADESIGN*, Ano 1, nº 1, p. 14-21.
- HEIDRICH, F. E.; PEREIRA, A. T. C. O uso do meio computacional na geração da forma arquitetônica. In: PROJETA 2003 – Seminário Nacional sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura, 1. 2003, Natal. *Anais...* Natal: PPGAU – EDUFRN, 2003. CD.

IMENES, L. M.; LELLIS, M. *Microdicionário de Matemática*. São Paulo: Scipione, 1998.

KLEIN, Roberto. Conceitos Básicos de CAD. In: Anais Seminário Internacional Computação, Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.

KOWALTOWSKI, Doris C. C. Metodologia e CAD no Projeto Arquitetônico. Seminário Internacional Computação; Arquitetura e Urbanismo. 1992, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / Universidade de São Paulo, 1992. p. 51-57.

KUBRUSLY, Ricardo. Geometrias Não-Euclidianas – *Uma breve introdução às Geometrias Hiperbólicas*. IM/UFRJ. Disponível em: <<http://www.dmm.im.ufrj.br/projeto/diversos/gne.html>>. Acesso em 03 ago. 2003.

LAMY JÚNIOR, Hercules. Arquitetura e Estética do Caos. In: Graphica 2000 – CONGRESSO INTERNACIONAL NAS ARTES E NO DESENHO, 3 / SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 14 . 2000, Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto: ABEG, 2000. p. CD.

LAWSON, Bryan. *Design in mind*. Oxford: Architectural Press / Butterworth-Heinemann, 1997. 316p.

_____. CAD na arquitetura, a história até agora. *GRAF & TEC*, nº 6. Editora da UFSC, 2º Semestre/1999.

LYNN, G. *Korean Presbyterian Church – BLOB*. Disponível em: <<http://www.giform.com>>. Acesso em 27 jan. 2004.

LOPES, C. de O.; VIEIRA, A. C.; LIMA FILHO, D. Fractais, a Interdimensionalidade do Caos. In: Graphica 2000 – CONGRESSO INTERNACIONAL NAS ARTES E NO DESENHO, 3 / SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 14. 2000, Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto: ABEG, 2000. p. CD.

MAFHUZ, E. C. *Ensaio sobre a razão compositiva*. Viçosa: UFV, IMPR. UNIV.; Belo Horizonte: AP Cultural, 1995.

MANDALA MAGAZINE. Maitreya Project. May/June, Taos/USA, 2001.

MESA A. de; QUILEZ, J.; REGOT, J. Analisis Geométrico de Formas Arquitectónicas Complejas. Modelado de um edifício de Frank O. Gehry para la Nationale Nederlanden em Praga (Chequia). In: SIGRADI: CONSTRUYENDO EL ESPACIO DIGITAL, 4., Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: UFRJ, 2000, p. 295-297.

NARDELLI, E. S. Cultura Digital e Diferenciação. *Revista AU*, São Paulo, Ano 19, nº 118, p. 64-65, Jan. 2004.

_____. Pensando Graficamente. *CADesign*, São Paulo, Market Press, Ano 6, Nº65, p36-37, 2000.

NOBREGA, D. P. VRML e arquitetura. In: PROJETAR 2003: Seminário Nacional sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura, 1., 2003, Natal. *Anais...* Natal: UFRN, 2003, CD.

ORCIUOLLI, A. Documento: Antoni Gaudí I Cornet. *Revista AU*, Nº 104, São Paulo: Pini, p. 57-65, out/nov 2002.

_____. Arquiteturas non-standard. *Revista AU*, São Paulo, Ano 19, nº 119, Editora Pini, fev. 2004.

PELIZAN, M. A. O Desenho como Ferramenta de Projeto. In: *Graphica 2000 – III Congresso Internacional nas Artes e no Desenho / 14º Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico*. Ouro Preto, *Anais...* ABEG, Ouro Preto, 2000. CD.

PESSOA, M. C. L. R *et al.* *Desenho Geométrico*. Salvador: Quarteto Editora, 2000.

PRATINI, E. F. Em Busca de um Novo Desenho – Algumas Reflexões sobre uma Experiência de Desenvolvimento da Visualização via Computador. In: Seminário Internacional “Computação: Arquitetura e Urbanismo”. 1992, *Anais...* São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo, 1992. p59-65.

_____. A realidade virtual como ambiente para o projeto arquitetônico. In: NUTAU'96. São Paulo. *Anais...* São Paulo, USP, 1996.

_____. Uma Interface Gestual para Esboços 3D em Arquitetura. 1999. Tese (Doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo. 171p.

REGO, R. de M. *As Naturezas Cognitiva e Criativa da Projetação em Arquitetura; reflexões sobre o papel mediador das tecnologias*. In: *Graphica 2000 – III CONGRESSO INTERNACIONAL NAS ARTES E NO DESENHO / 14º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO*. 2000, Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto: ABEG, 2000. p. CD.

_____. *Arquitetura e Tecnologias Computacionais: novos instrumentos mediadores e as possibilidades de mudança no processo projetual*. 2000. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

REGOT, J.; MESA, A. de; GARCIA, N. El análisis de las formas de la arquitectura a partir de la generación digital de superficies. Ronchamp. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, 5., 2001, BioBio. *Anais...*BioBio: Universidad del BioBio – Chile, 2001. p. 295-298.

ROCHA, Isabel A. M. A composição arquitetônica em ambiente computacional: Estratégias projetuais e o processo de ensino-aprendizagem. In: STRÖHER, E. R.(org). *O Tipo na Arquitetura: da teoria ao projeto*. São Leopoldo: Editora UNISINOS, 2001.

RODRIGUES, A. *Geometria Descritiva – Operações Fundamentais e Poliedros*. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1964.

_____. *Geometria Descritiva – Projetividade, Curvas e Superfícies*. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1968.

RODRIGUEZ, W. 3-D Geometric Modeling. In: _____. *The Modeling of design ideas. Graphics and visualization techniques for engineers*. New York: Mc Graw Hill, 1992. Chapter 8, p.177-202.

SÁ, Ricardo. *EDROS*. São Paulo: Projeto, 1982.

SAINZ, Jorge. *El Dibujo de Arquitectura – Teoria e historia de un lenguaje gráfico*. Madrid: NEREA, 1990. 236p.

- SAINZ, J.; VALDERRAMA, F. *Infografía y Arquitectura*. Madrid, Editorial Nerea, 1992.
- SENAGALA, M. Softerials: Digital Materiality and the Transformation of Architecture. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, 5. 2001, BioBio. *Anais...BioBio: Universidad del BioBio – Chile, 2001. p. 272-274.*
- SERRA, G. G. Teoria, Simulação e Modelo na Arquitetura. In: SEMINÁRIO MODELOS DE SIMULAÇÃO DE AMBIENTES, 1995. São Paulo. *Anais... São Paulo: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, FAU-USP, 1995. p.9-18.*
- SILVA, E. *Uma introdução ao projeto arquitetônico*. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1983. 122p.
- SILVA, M. S. K. da. *A arquitetura líquida do NOX*. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/>> acessado em 10 mar. 2004.
- SOARES, C. C. P. Informática e Educação. *CADesign*, São Paulo, Market Press, n. 39, ano 4, p.74. set. 1998.
- SOUZA, Isabel C. L. *Museu Guggenheim de Bilbao – Ousadia Formal Tecnologia Computacional*. Monografia (Especialização em Projeto Auxiliado por Computador). Faculdade de Arquitetura - Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2000.
- SOUZA FILHO, J. A de ; GOUVINHAS, R P. Processo Projetual na Arquitetura: Novos Paradigmas através da Engenharia Simultânea. In: PROJETAR 2003 – Seminário Nacional sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura, 1. 2003, Natal. *Anais... Natal: 2003. CD.*
- STEELE, J. *Arquitectura y Revolución Digital*. México: Ediciones G.Gilli, 2001.239p.
- STRUIK, D. *História Concisa das Matemáticas*. Lisboa: Gradiva, 1997.
- TAI HSUAN AN. *Desenho e organização bi e tridimensional da Forma*. Goiânia: UCG, 1997.
- TENORIO, Robson (Org) *et al. Aprendendo pelas raízes: alguns caminhos da matemática na história*. Salvador: Centro Editorial e Didático da UFBA., 1995.
- VIANNA, Nelson Solano. *Tecnologia e Arquitetura*. In MASCARO, Lúcia (org). *Tecnologia & Arquitetura*. São Paulo: Nobel, 1989.
- VINCENT, C. de C. *Processos de Projeto e Computação Gráfica: Uma abordagem didática*. 2002. 255 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Paulo. 255p.
- WONG, Wucius. *Princípios de Forma e Desenho*. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Architectural Competitions: 1950-Today: Opera House, Sydney. Germany, Benedikt Taschen, 1994. p24-29

- ABURGELE, V.; FAÇO, R. Splines e NURBS. Disponível em: <<http://www1.uol.com.br/digitaldesigner/conceitos.htm>>. Acesso em 19 jan. 2004.
- AMORIM, A. L. de; CARVALHO, Silvana Sá de Uso de Tecnologias CAD - uma reflexão dos Professores da FAUFBA. In: Graphica 2000 –Congresso Internacional nas Artes e no Desenho, 3 / Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 14. 2000, Ouro Preto. *Anais ...Ouro Preto*: ABEG, 2000. CD.
- AMORIM, A. L. de; REGO, R. de M. A Reestruturação do Ensino de Desenho – Uma proposta em construção. *Educação Gráfica*, Vol.3, Nº 3, Universidade Estadual Paulista. Bauru, 1999. p37-52.
- _____. O Profissional de Desenho e as Novas Tecnologias. In: GRAPHICA 98 – Congresso Internacional de Engenharia Gráfica nas Artes e no Desenho, 2, Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 13. 1998, Feira de Santana. *Anais...* Feira de Santana: UEFS, 1998.
- ANDRADE, M. L. V. X. O Ensino da Disciplina de Informática Aplicada à Arquitetura: Uma Experiência Pedagógica. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, 8. 2004, São Leopoldo. *Anais...* São Leopoldo: UNISINOS, 2004. p.95-97.
- Autodesk® Architectural Desktop – *Gettin Started and New Features Guide*. Autodesk, 2001.
- BARR, R. E. & JURICIC, D. From Drafting to Modern Design Representation: The Evolution of Engineering Design Graphics. *Journal of Engineering Education*, July 1994. p.263.
- BECKER, Margaret. *RHINO: NURBS 3D Modeling*. Indianapolis: New Riders, 1999.
- BIANCHI, A. S. Herramientas Digitales en el Proceso de Diseño en el Taller de Arquitectura. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, 8. 2004, São Leopoldo. *Anais...* São Leopoldo: UNISINOS, 2004. p. 146-148.
- BRASIL, C.; LIMA, F. R.; RHEINGANTZ, P. A. Projetando no espaço cibernético: reflexões acerca do projeto de arquitetura em tempos de realidade virtual. In: PROJETAR 2003: Seminário Nacional sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura, 1., 2003, Natal. *Anais...* Natal: UFRN, 2003, CD.
- CORREIA, A. M. A. Hipermídia no ensino da Representação Gráfica: o conceito de projeção em engenharia. 2002. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- DAMASCENO, Manoelito. Desenho: Uma reflexão conceitual. In: GRAPHICA 98 – Congresso Internacional de Engenharia Gráfica nas Artes e no Desenho, 2, Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 13. 1998, Feira de Santana, *Anais...* Feira de Santana: UEFS, 1998.
- DOLCE, Osvaldo; POMPEO, J. N. *Fundamentos de Matemática Elementar: Geometria Plana*. São Paulo: Atual Editora, 1993.
- DOKONAL, W.; KNIGHT, M.; BROWN, A.; To CAAD or not to CAAD? In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, 8. 2004, São Leopoldo. *Anais...* São Leopoldo: UNISINOS, 2004. p. 98-100.
- DUARTE, R. B. Ensino de Projeto, Computadores, Imagens e o Monstro do Armário. In: PROJETAR 2003 – Seminário Nacional sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura, 1. 2003, Natal. *Anais...* Natal: PPGAU – EDUFRN, 2003. CD.

_____. Uma Investigação sobre as Diversas Aproximações entre o Computador e o Processo de Ensino/Aprendizado do Projeto Arquitetônico. In: PROJETAR 2003 – Seminário Nacional sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura, 1. 2003, Natal. *Anais...* Natal: PPGAU – EDUFRN, 2003. CD.

_____. Avaliação de um Experiência: entre a Representação e a Realidade. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, 8. 2004, São Leopoldo. *Anais...* São Leopoldo: UNISINOS, 2004. p.140-142.

FABRICIO, M. M. O Projeto como processo social-cognitivo: contradições entre o desenvolvimento criativo e o processo produtivo do projeto. In: PROJETAR 2003 – Seminário Nacional sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura, 1. 2003, Natal. *Anais...* Natal: PPGAU – EDUFRN, 2003. CD.

FARAGGI, A. Máquinas de projetar. In: *AU*, N. 81, Dez/Jan 99. p.73-74.

FELIX, L.R.; SILVA, A. B. A.; FELIX, N. M. R. Entre Béziérs e NURBS: Ensino de Formas Livres no Contexto Arquitetônico. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, 8. 2004, São Leopoldo. *Anais...* São Leopoldo: UNISINOS, 2004. p. 78–80.

FONSECA, A. A. S. et. al. *Superfícies*. Salvador: Quarteto Editora, 1999.

GIOVANNI, J.R & BONJORNO, J.R. *Matemática – 2ª. série / 2º grau*. São Paulo, FTD, s/d.

GOMES, J. M.; VELHO, L. C. Modelagem. In: _____ *Conceitos Básicos de Computação Gráfica*. São Paulo: VII Escola de Computação, 1990. Parte 2, Cap. 5-8.

GOMES, Luis Vidal Negreiros. *Desenhismo*. Santa Maria: Ed. Da Universidade Federal de Santa Maria, 1996. 120p.

IVY, Robert. Frank Gehry: Plain Talk With a Master. *Architectural Record*, maio/99, p. 356, 357, 360.

JODIDIO, P. *Santiago Calatrava*. Koln: Taschen, 2001. 175p.

LAKATOS, Eva M.; MARCONI, Marina de. *Metodologia Científica*. Atlas, São Paulo, 1988.

_____. *Fundamentos de Metodologia Científica*. São Paulo: Atlas, 1991.

LARA, F.; MARQUES, S. (org) *Projetar: Desafios e Conquistas da Pesquisa e do Ensino de Projeto*. Rio de Janeiro: Editora Virtual Científica, 2003.

LUBISCO, N.; VIEIRA, S. C. *Manual de Estilo Acadêmico: Monografias, Dissertações e Teses*. Salvador: EDUFBA, 2002.

MACEDO, S. da H.; GONÇALVES, L. C. O Ensino do Desenho Técnico Projetivo numa Perspectiva de Construção. In: GRAPHICA 98 – Congresso Internacional de Engenharia Gráfica nas Artes e no Desenho, 2, Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 13. 1998, Feira de Santana, *Anais...* Feira de Santana: UEFS, 1998.

MAESTRI, G. Decidindo a geometria correta. In: *Animação (digital) de personagens*. São Paulo: Editora Quark do Brasil Ltda/New Riders Publishing, 1996. p. 22-26, 36-37.

- MAHFUZ, E. da C. *A arquitetura consumida na fogueira das vaidades* (editorial). *Arquitextos*, nº 012. Disponível em <www.vitruvius.com.br>. Acesso em mai. 2001.
- MARCONI, Marina de A.; LAKATOS, Eva M. *Técnicas de Pesquisa*. Atlas, São Paulo, 1990.
- MARIMÓN, Joaquin R.; GISBERT, A. de M. Diseño Gráfico. La proyección sobre el Plano y el Modelado Tridimensional. *Revista de Expression Gráfica Arquitectónica*. Asociación Española de Departamentos Universitarios de Expression Gráfica Arquitectónica, Año 5 Nº 5, Pamplona, 1999. p64-75.
- MERLIN, J. R. Concepção e Ensino do Projeto. In: PROJETAR 2003 – Seminário Nacional sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura, 1. 2003, Natal. *Anais...* Natal: PPGAU – EDUFRN, 2003. CD.
- NAVEIRO, R. M.; OLIVEIRA, V.F.(org) *O Projeto de engenharia, arquitetura e desenho industrial*. Juiz de Fora: Ed.UFJF, 2001.
- NAVEIRO, R. M. & BORGES, M. M. Projetação e Formas de Representação do Projeto. GRAPHICA 98 – Congresso Internacional de Engenharia Gráfica nas Artes e no Desenho, 2 / Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 13. 1998, Feira de Santana. *Anais...* Feira de Santana: UEFS, 1998.
- _____. Considerações acerca das formas tradicionais e recursos computacionais para a representação do projeto. In: Graphica 2000 – Congresso Internacional nas Artes e no Desenho, 3 / Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 14. Ouro Preto, *Anais...* ABEG, Ouro Preto, 2000.
- NEVES, L. P. *Adoção do partido na arquitetura*. Salvador: Centro Editorial e Didático da UFBA, 1989.
- Rhinoceros: NURBS modeling for Windows*. Version 1.0. User's Guide. Washington: Robert McNeel & Associates, 1998.
- Rhinoceros: NURBS modeling for Windows*. Version 1.1. Upgrade Guide. Washington: Robert McNeel & Associates, 1999.
- ROCHA, I. A. M. A Concepção Arquitetônica em Ambiente Computacional, a Ferramenta como Fator Interveniente durante a Geração de Idéias. PAAVI – Projeto de Arquitetura em Ambientes Virtuais Interativos. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, 8. 2004, São Leopoldo. *Anais...* São Leopoldo: UNISINOS, 2004. p.162-165.
- RUDIO, F. V. *Introdução ao Projeto de Pesquisa Científica*. Vozes, Petrópolis, 1986.
- SCHMITT, Gerhard N. *Realidade Virtual na Arquitetura*. In: *Mundos Virtuais e Multimídia*. Org. Nadia Magnenat e Daniel Thalman. Trad. João Eduardo N. Tortello. Rio de Janeiro: LTC, 1993. p.93-108.
- SILVA, Elvan. *Matéria, idéia e forma – Uma definição de arquitetura*. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1994. 191p.
- SILVA, V. O Simpático Alienígena. *Revista AU*, São Paulo, Ano 19, n.5, p. 34-41, mar. 2004.

SOUZA FILHO, E. B. de. O Ensino do Desenho e o Exercício dessa Linguagem: Questões, Desafios e Reflexões. In: GRAPHICA 98 – Congresso Internacional de Engenharia Gráfica nas Artes e no Desenho, II, Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 13. 1998, Feira de Santana, *Anais...* Feira de Santana: UEFS, 1998.

TRINCHÃO, G. M. C., OLIVEIRA, L.R. A História Contada a partir do Desenho. In: GRAPHICA 98 – Congresso Internacional de Engenharia Gráfica nas Artes e no Desenho, 2 / Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 13. 1998, Feira de Santana, *Anais...* Feira de Santana: UEFS, 1998.

VASCONCELOS, Ângela Petrucci. O Saber do Desenho e o Ensino de Arquitetura: Relações, Perspectivas e Desafios. In: GRAPHICA 98 – Congresso Internacional de Engenharia Gráfica nas Artes e no Desenho, 2 / Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 13. 1998, Feira de Santana, *Anais...* Feira de Santana: UEFS, 1998.

VINCENT, C. C. Projeto Arquitetônico e Computação Gráfica: Processos, Métodos e Ensino. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, 8. 2004, São Leopoldo. *Anais...* São Leopoldo: UNISINOS, 2004. p.89-90.

SITES CONSULTADOS

<<http://www.arcad.com.br>>. Acesso em 10 fev. 2004

<<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia21.asp>>. Acesso em 22 jan. 2004

<<http://www.autodesk.com>>. Acesso em 22 jan. 2004

<www.bm30.es/homegug_es.html> , acessado em 16/04/04.

<<http://www.bentley.com.br>>, acessado em 12/01/2004

<<http://www.cadtec.com/3dpowerpack/featuresbr.html>>, acessado em 22/01/2004

<<http://www.catia.com>>, acessado em 12/01/2004

<<http://www.fosterandpartners.com/internetsite/html/Project.asp?JobNo=1004#>>. Acesso em 29. jun. 2004.

<www.qlform.com>. Acesso em 10 jan. 2005.

<<http://www.grapho.com.br>>. Acesso em 14 jan. 2004

<<http://www.maitreyaproject.org>>. Acesso em 29 jun. 2004.

<<http://www.rhino3D.com>>. Acesso em 18 fev. 2004

<<http://www.sydneyoperahouse.com>>. Acesso em 15 mar. 2004.

<<http://www.t-systems.com.br/prodserv/cadcamcatia/inicio.asp>>. Acesso em 07 out. 2002

<<http://usa.autodesk.com>>. Acesso em 12 jan. 2004

<www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp222.asp>. Acesso em 10 mar. 2004.

<<http://www-306.ibm.com/software/applications/plm/catia5/>>. Acesso em 28 abr. 2004.

Apêndice 01
Ficha dos Programas analisados

NOME DO PRODUTO: AutoCAD

VERSÃO ESTUDADA: 2004

FABRICANTE: Autodesk Inc

CARACTERÍSTICAS GERAIS:

Aplicações: Produção de desenhos em geral e modelamento a partir de entidades geométricas reconhecidas. Síntese de imagem. Ambiente de desenvolvimento de aplicações.

Tipo: Independente.

Ambiente(s): Windows 2000, XP ou NT.

Arquivos Nativos e Compatibilidade: Arquivos nativos no formato DWG, DXF e DWF.

Requisitos do Sistema: Pentium Intel III, com 800 MHz ou compatível; 256 MB RAM (recomendado); 300 MB de espaço livre em disco para instalação.

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS:

Grau de completeza do desenho: Desenhos feitos passo a passo, sem geração automática de desenhos normatizados.

Vinculação 2D-3D: A depender de como o desenho é desenvolvido a vinculação pode existir ou não.

Tipos de modelos: Arestas, superfícies e sólidos.

Aspectos específicos vinculados à produção da forma: Desenhos elaborados passo a passo, a partir de elementos geométricos tais como pontos, linhas e poligonais; modelagem a partir de superfícies ou sólidos primitivos ou por varredura – extrusão e revolução, permitindo a aplicação de operações booleanas. Por ser um *software* genérico não tem comandos específicos para produção de objetos arquitetônicos.

NOME DO PRODUTO: ARCAD

VERSÃO ESTUDADA: V5

FABRICANTE: Mitilene & Cordeiro LTDA

CARACTERÍSTICAS GERAIS:

Aplicações: Desenvolvimento de projetos e produção de documentação (desenhos) de projetos arquitetônicos.

Tipo: *Plug In* do AutoCAD 2000.

Ambiente(s): Windows 98, Me, 2000 ou XP.

Arquivos Nativos e Compatibilidade: Arquivos nativos no formato DWG e DXF.

Requisitos do sistema: Processador Pentium, 64 MB de memória RAM; AutoCAD 2000 ou 2002.

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS:

Grau de completeza do desenho: Geração de desenhos de objetos arquitetônicos, normatizados e cotados automaticamente. Modelagem 3D automática a partir da planta baixa. Edição total das paredes e esquadrias 3D com reconstrução automática dos desenhos. Desenhos incompletos, necessitando de acabamentos e/ou ajustes. A partir do modelo 3D as vistas são geradas automaticamente.

Vinculação 2D-3D: Vinculação total, isto é, as alterações efetuadas em um, são automaticamente atualizadas no outro.

Tipos de modelos: Aresta, superfície e sólidos.

Aspectos específicos vinculados à produção da forma: Paredes geradas a partir de eixos, que podem ser retos ou curvos. Os comandos de extrusão e revolução podem ser aplicados às curvas *spline*. Gera superfícies de revolução, superfícies a partir de translação e o parabolóide hiperbólico (superfície reversa). Faz modelagens a partir de primitivos existentes ou a partir de extrusão ou revolução aplicados à elementos geométricos. Podem ser efetuadas operações booleanas nos sólidos modelados. Possui as mesmas possibilidades de manipulação do AutoCAD, por ser um *plug in* do mesmo.

NOME DO PRODUTO: ArchiCAD

VERSÃO ESTUDADA: 8.0

FABRICANTE: Graphisoft, Inc.

CARACTERÍSTICAS GERAIS:

Aplicações: Concepção, desenvolvimento e desenhos de documentação de projetos arquitetônicos.

Tipo: Independente.

Ambiente(s): Windows 98, Me, 2000 ou XP para PC; para Macintosh Mac OS 9.2 ou Mac OS X 10.3

Arquivos Nativos e Compatibilidade: Importa e exporta arquivos no formato DWG e DXF (nativos) e DGN (Microstation).

Requisitos do sistema: PC: Processador Pentium IV com 2 GHz de frequência, 1 GB de memória RAM; **Macintosh:** G5/G4, 1 GB de RAM, placa vídeo Standard OpenGL com 64 MB de RAM.

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS:

Grau de completeza do desenho: Geração automática de objetos arquitetônicos, normatizados e cotados. Como o programa é tridimensional, ao se construir a planta baixa, os elementos vão sendo definidos também na terceira dimensão. Edição total das paredes e esquadrias 3D com reconstrução automática. A partir do modelo 3D as vistas são geradas automaticamente, desconsiderando os elementos que estão em planos além da seção.

Vinculação 2D-3D: Vinculação total, isto é, as alterações efetuadas em um, são automaticamente atualizadas no outro.

Tipos de modelos: Arestas e superfícies.

Aspectos específicos vinculados à produção da forma: Trabalha através do conceito de “Edifício Virtual” (*Virtual Building*), ou seja, a projeção é realizada pela interação com um modelo tridimensional. Além da produção de formas arquitetônicas convencionais, trabalha com formas curvas, mas apenas aquelas de geometria existente na biblioteca do programa, como por exemplo, os helicóides. Não gera formas livres, não sendo muito apropriado para modelamento de formas complexas. Permite a edição da maioria dos objetos tanto no modelo quanto na vista ortográfica.

NOME DO PRODUTO: AutoCAD Architectural Desktop

VERSÃO ESTUDADA: 2004

FABRICANTE: Autodesk, Inc.

CARACTERÍSTICAS GERAIS:

Aplicações: Concepção, desenvolvimento e desenhos de documentação de projetos arquitetônicos.

Tipo: Independente.

Ambiente(s): Windows 2000, XP ou NT.

Arquivos Nativos e Compatibilidade: Arquivos nativos no formato DWG e DXF.

Requisitos do sistema: Processador Pentium 4 com 1.4 GHz de frequência ou AMD-K7 com 1.4 GHz de frequência ou melhor; 512 MB de memória RAM; 650 MB de espaço livre no disco rígido, e 75 MB de *swap space* (memória virtual).

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS:

Grau de completeza do desenho: Dispõe das ferramentas tradicionais de desenhos do AutoCAD, além da geração automática de objetos arquitetônicos. O projeto pode ser feito tanto em 2D quanto em 3D. Gera plantas e cortes. Traz associado o Viz Render, uma ferramenta de visualização e renderização que permite explorar materiais de acabamento e criar imagens com extremo realismo. A paleta de ferramentas oferece acesso imediato aos comandos, tais como a criação e edição de paredes, portas, janelas. Secciona os objetos e obtém as projeções resultantes.

Vinculação 2D-3D: Vinculação total, isto é, as alterações efetuadas no desenho são automaticamente atualizadas no modelo tridimensional e vice-versa.

Tipos de modelos: Arestas, superfícies e sólidos

Aspectos específicos vinculados à produção da forma: Permite a geração de paredes curvas, mas representa as superfícies curvas como uma malha poligonal. Constrói os elementos a partir de um estudo de volumetria, ou seja, o profissional insere os parâmetros de volume e o programa gera os elementos automaticamente.

NOME DO PRODUTO: Arqui 3D

VERSÃO ESTUDADA: 2000

FABRICANTE: Grapho – Computação Gráfica.

CARACTERÍSTICAS GERAIS:

Aplicações: Desenvolvimento, modelagem e desenhos de documentação de projetos arquitetônicos.

Tipo: *Plug In* do AutoCAD

Ambiente(s): Windows 98, NT, Me, 2000 ou XP

Arquivos Nativos e Compatibilidade: Arquivos nativos no formato DWG e DXF

Requisitos do sistema: Processador Pentium com 133 MHz de frequência, 256 MB de memória RAM. Ocupa 18 MB no disco rígido. AutoCAD 2000, 2000i, 2002 ou 2004 ou AutoCAD Architectural Desktop.

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS:

Grau de completeza do desenho: Geração de desenhos de objetos arquitetônicos, normatizados e cotados automaticamente. Geração de planta baixa, corte, elevação, corte perspectivado, planta de cobertura, de vigas, planilha de esquadrias. Cotagem semi-automática. Os desenhos gerados são incompletos, necessitando ajustes.

Vinculação 2D-3D: Não há vinculação total pois apesar da representação bidimensional ser gerada a partir do modelo tridimensional, as alterações feitas no modelo não são atualizadas automaticamente nos desenhos.

Tipos de modelos: Superfície e sólidos e visualização em arame.

Aspectos específicos vinculados à produção da forma: Paredes, lajes, vigas, pilares, forre e piso parametrizados e facilmente editáveis tanto em suas dimensões básicas como na criação de furos irregulares, formas não convencionais. Com relação à cobertura, a partir de um contorno de beiral o programa propõe automaticamente uma forma de cobertura que pode ser facilmente editável, possibilitando a criação de pergolados, clarabóias, telhados complexos e de inclinações e formas diferentes.

NOME DO PRODUTO: CATIA

VERSÃO ESTUDADA: V5 R13

FABRICANTE: Dassault Systèmes S. A.

CARACTERÍSTICAS GERAIS:

Aplicações: Modelamento 2D/3D, manipulação de superfícies complexas e de elementos sólidos, geração de ordem de usinagem CNC, para engenharia e *design*.

Tipo: Independente

Ambiente(s): Windows 2000 ou XP, SunOS, IRIX, HP-UX, AIX.

Arquivos Nativos e Compatibilidade: Arquivos nativos no formato CATProduct. Aceita arquivos *raster* (bmp, jpg, gif e tif) para importação. Compatível com padrões industriais de desenho como DXF e DWG. exporta no formato IGES ou STEP.

Requisitos do sistema: Os requisitos mais comuns são: processador com 2.4 GB no mínimo; 256 MB de memória RAM, drive de CD-ROM; resolução de Vídeo de 600x800 dpi para Windows e 1280x1024 dpi para UNIX; mouse de três botões. Para informações mais detalhadas consultar o site da IBM, <<http://www-306.ibm.com/software/applications/plm/catiav5/sysreq/index.html>>

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS:

Grau de completeza do desenho: Produz vistas (2D) ou modelos (3D), mas não desenhos técnicos normatizados. Manipulação de superfícies complexas e de elementos sólidos, integração bidirecional de sólidos/superfícies. Possibilita a geração de arquivos STL utilizados em processos de prototipagem rápida (estereolitografia), eletroerosão, desenvolvimento de chapas, entre outros.

Vinculação 2D-3D: Vinculação total, isto é, as alterações efetuadas nas representações bidimensionais são automaticamente atualizadas no modelo tridimensional e vice-versa.

Tipos de modelos: Arestas, superfícies e sólidos

Aspectos específicos vinculados à produção da forma: Possui módulos que proporcionam um conjunto amplo de características para projeto de formas diversas. Isto inclui, entre outros, elementos de *wireframe* como ponto, linha, ângulo, plano, curva, círculos, *spline*. Permite geração de formas a partir de

extrusão e revolução. Combinações padronizadas de elementos usam transformações associativas, incluindo simetria, escalamento, translação, afinidade, extrapolação e arredondamento. Permite representar superfícies de formas complexas, inclusive a partir de um modelo digitalizado a partir de um *scanner*. Possui um módulo que simplifica o processo de projeto de formas livres ao unificar todas as curvas e superfícies destas formas em representações matemáticas. As formas podem ser modificadas e ajustadas através de comandos como *matching*, *smoothing* e *trimming*, aplicados a curvas e superfícies. As ações podem ser refinadas por modificações em pontos de controle das curvas ou superfícies. Permite trabalhar com representações matemáticas para todos os tipos de formas livres, curvas, superfícies, bem como curvas Bezier e NURBS.

NOME DO PRODUTO: MICROSTATION TRIFORMA

VERSÃO ESTUDADA: V 8.1

FABRICANTE: Bentley Systems, Inc.

CARACTERÍSTICAS GERAIS:

Aplicações: Arquitetura, construção e plantas de produtos industriais.

Tipo: Módulo para AEC do Microstation.

Ambiente(s): Windows 95, 98, 2000, XP ou NT 4.

Arquivos Nativos e Compatibilidade: Arquivos nativos no formato DGN, compatível com DWG e DXF

Requisitos do sistema: Processador Pentium ou AMD Athlon, 128 MB de memória RAM; espaço livre em disco de 200 MB no mínimo.

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS:

Nível de produção do desenho: Os objetos de arquitetura são automaticamente gerados usando convenções de desenho padronizadas da indústria. A partir do modelo 3D as vistas são geradas automaticamente. Geração de desenhos de objetos arquitetônicos, normatizados e cotados.

Vinculação 2D-3D: Vinculação total, isto é, as alterações efetuadas em um, são automaticamente atualizadas no outro.

Tipos de modelos: Aresta, superfície e sólidos

Aspectos específicos vinculados à produção da forma: Geração de objetos a partir de primitivas, que podem ser manipuladas e editadas. Permite desenhar formas livres e elementos complexos, inclusive com a utilização de curvas *spline*.

NOME DO PRODUTO: RHINOCEROS

VERSÃO ESTUDADA: V 1.0 / 1.1

FABRICANTE: Graphos

CARACTERÍSTICAS GERAIS:

Aplicações: Modelamento 2D/3D, manipulação de superfícies complexas e de elementos sólidos, para engenharia e design.

Tipo: Independente

Ambiente(s): Windows 98/NT/Me/2000/XP para Intel ou AMD

Arquivos Nativos e Compatibilidade: Exporta nos formatos IGES, STEP, Wavefront, SAT, STL, DWG, DXF, Parasolid, 3DS, AI, entre outros. Importa formatos STEP, IGES, SAT, DWG, DXF, 3DS, IWQ, AI, STL, entre outros.

Requisitos do sistema: Processador Pentium II, 128 RAM (memória mínima recomendada). 65MB de espaço no disco rígido. Recomendável IntelliMouse.

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS:

Grau de completeza do desenho: Produz modelos 3D, mas não desenhos técnicos normatizados. Manipulação de superfícies complexas e de elementos sólidos.

Tipos de modelos: Superfície e sólidos

Aspectos específicos vinculados à produção da forma: Sempre trabalha com NURBS. Mas como existem muitos modeladores que usam malhas poligonais como representação geométrica, o Rhino pode transformar sua geometria NURBS em malha poligonal para exportar. Também permite trabalhar com “nuvem de pontos”. As superfícies podem ser construídas de várias maneiras, mas a maior parte é baseada em uma curva ou em outra superfície. Possui vários comandos de geração como *Revolve*, *Extrude*, *Sweep* (cria uma superfície tendo como geratriz uma curva e como diretriz outra curva), *Loft* (cria uma superfície suave), *Blend* (uma espécie de mistura entre duas superfícies, suavizada). Permite também a duplicação de uma superfície já criada a partir do recurso de *Offset*. Possui também vários comandos de edição para superfícies e polisuperfícies, como *Edit Surface Control Points* (move os pontos de controle da superfície), *Trim*, *Match*, *Merge*, *Rebuild*, *Join*, *Explode*, *Extract Surface*, o que

facilita a manipulação das superfícies que estão sendo modeladas. Também podem ser efetuadas operações booleanas, com algumas restrições.

NOME DO PRODUTO: VectorWorks

VERSÃO ESTUDADA: 10

FABRICANTE: CAD Technology.

CARACTERÍSTICAS GERAIS:

Aplicações: Desenvolvimento e desenhos de documentação de projetos arquitetônicos.

Tipo: Independente, genérico com módulos incorporados de AEC e mecânica.

Ambiente(s): Windows 98, NT, Me, 2000 ou XP.

Arquivos Nativos e Compatibilidade: Arquivos no formato DWG e DXF. Importação e exportação em formato IGES.

Requisitos do sistema: PC: Processador Pentium III ou IV ou Athlon, com 128 MB de memória RAM; unidade de CD-ROM; disco rígido com mínimo de 70 MB e 110 Mb para instalação completa; Macintosh: Sistema 9.2 ou OSX 10.2 ou superiores; disco rígido: mínimo 70 MB e 110Mb para instalação completa.

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS:

Grau de completeza do desenho: Geração de desenhos de objetos arquitetônicos, normatizados e cotados. Os desenhos gerados são incompletos, necessitando ajustes.

Vinculação 2D-3D: Não há vinculação.

Tipos de modelos: Sólidos.

Aspectos específicos vinculados à produção da forma: Permite gerar modelos 3D complexos através de modelagem NURBS de superfícies. Secciona sólidos, gera volume a partir de superfícies, cria superfícies arredondadas, fechamentos planos, e extrai superfícies a partir de curvas. Gera modelos (3D) a partir da cobertura de uma sequência de seções dispostas no espaço, onde os objetos serão compostos por superfícies abertas, fechadas ou sólidos, e ainda, os perfis podem ser manipulados para gerar torções ou evitá-las, como desejado. Possui vários outros recursos de manipulação de superfícies NURBS, o que torna mais versátil o trabalho com estas superfícies.

NOME DO PRODUTO: 3D Studio Max

VERSÃO ESTUDADA: V 6

FABRICANTE: Autodesk, Inc.

CARACTERÍSTICAS GERAIS:

Aplicações: Renderização, visualização, modelagem 3D e animação, além de manipulação de superfícies complexas, muito usado em design e em apresentações de projetos de arquitetura.

Tipo: Independente

Ambiente(s): Windows XP ou 2000

Compatibilidade: Extensão no formato MAX. Compatível com os formatos DWG, DXF e IGES.

Requisitos do sistema: Processador Pentium III ou AMD com no mínimo 300 MHz de frequência; 512 MB RAM (memória mínima recomendada). 500 MB de *swap space*. Recomendável IntelliMouse ou compatível.

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS:

Grau de completeza do desenho: Produz modelos 3D, mas não desenhos técnicos normatizados. Manipulação de superfícies inclusive as complexas.

Tipos de modelos: Superfície.

Aspectos específicos vinculados à produção da forma: Modela a partir do 2D como superfície. Modela superfícies complexas, mas sem cotagem. Os principais tipos de modelamento são: a partir de formas em 2D faz extrusão ou revolução; a partir de primitivos tradicionais, aos quais podem ser aplicadas operações booleanas; a partir de superfícies NURBS.

Apêndice 02
Relação dos trabalhos do Ateliê Cooperativo de Simulação Digital

Título: **Centro Cultural**

Aluna: **Cristina Cândia Trigo**

Título: **Centro de Esportes Aquáticos**

Aluno: **Adriano Huoya Mariano**

Título: **Intervenção na Orla da Barra**

Aluna: **Márcia Matos**

Título: **Museu Salvador**

Aluno: **Jaine Carvalho**

Título: **Planetário**

Aluna: **Akemi Tahara**

Apêndice O3
Relação dos Trabalhos Finais de Graduação destacados na tese

2002

Título: **Museu do Mar**
Autor: Fabio Jorge da Silva Melo
Orientador: Profa. Cristina Ventura
Data da apresentação: dezembro / 2002

2003

Título: **Recuperação de Apenados – EducaAção**
Autor: Orlando Moreira Ribeiro Júnior
Orientador: Prof. Paulo Roberto de Souza Rocha
Data da apresentação: março / 2003

Título: **Museu Salvador**
Autor: Jaine Pinto de Carvalho
Orientador: Prof. Gilberto Corso Pereira
Data da apresentação: maio / 2003

2004

Título: **Centro de Tecnologia Rural Barata Azul**
Autor: André Dias de Oliva
Orientador: Prof. Eduardo Teixeira de Carvalho
Data da apresentação: janeiro / 2004

Título: **Projeto para a 3ª. Idade – Uma nova forma de vida: Residencial Gamboa**
Autor: Rodrigo Dratovsky
Orientador: Prof. Analdino Lisboa
Data da apresentação: fevereiro / 2004

Título: **Arquitetura Hoteleira enquanto Marco Visual e Agente de Requalificação Urbana**
Autor: Lídice Araújo Mendes de Carvalho
Orientador: Prof. Firmo Augusto Azevedo
Data da apresentação: julho / 2004

Título: **Terminal Rodoviário Alternativo**
Autor: Anselmo Sampaio Pires
Orientador: Prof. Arivaldo Leão de Amorim
Data da apresentação: julho / 2004

Apêndice 04
Ficha de Perfil do Aluno do Ateliê

FICHA 2. PERFIL DO ALUNO DO ATELIÊ:

ATELIÊ: _____ TURMA: _____ ALUNO: _____

Considerando como ferramentas CAD qualquer programa de auxílio ao projeto de arquitetura, incluindo os genéricos como o Autocad e o Microstation, responda às seguintes questões:

2.1: Quanto ao nível de conhecimentos no uso de ferramentas CAD, você se considera:

- () Sem conhecimentos no uso de ferramentas CAD
- () Com conhecimentos básicos no uso de ferramentas CAD
Qual(is) ferramentas: _____

- () Com conhecimentos médios no uso de ferramentas CAD
Qual(is) ferramentas: _____

- () Com conhecimentos avançados no uso de ferramentas CAD
Qual(is) ferramentas: _____

2.2: Está utilizando as ferramentas CAD nas suas atividades para o Atelier? Por que?

2.3: Você se considera um usuário experiente no uso das ferramentas CAD?

2.4: Que tipo de limitações as ferramentas CAD impõem em seu trabalho no que diz respeito à geração da forma?

Apêndice 05
Ficha de Acompanhamento de Atividades do Ateliê

FICHA 3. ACOMPANHAMENTO DE ATIVIDADES

Ateliê: _____ Turma: _____ Aluno: _____

Atividade: _____ Data: _____

3.1 Apresentação da atividade:

3.1.1 Representação gráfica não
 sim

No caso afirmativo, a representação gráfica utiliza:
 instrumentos tradicionais (lápis, régua, esquadros, transferidor, compasso, etc)

ferramentas computacionais
 ambos

No caso de utilizar ferramentas computacionais, qual(is) o(s) software utilizado(s)

Detalhar o tipo de representação utilizado:

3.1.2 Maquete: não
 sim

Em caso afirmativo, qual o material utilizado para a confecção da maquete: _____

3.1.3 Como você avalia que o instrumental utilizado interferiu no resultado apresentado na atividade:

Foi um facilitador
 Dificultou
 Não interferiu

Justifique a resposta anterior

3.2 Observações gerais

Apêndice 06
Fichas dos Ateliês III e IV acompanhados

ARQ 031 Ateliê III

Departamento da Criação e Representação Gráfica

Ementa

Desenvolver a capacidade de análise e criação arquitetônica mediante a execução de exercícios (mínimo de três) de leitura de obras e realização de projetos habitacionais pluridomiciliares em nível de anteprojeto e projeto arquitetônico (mínimo de um exercício) atendendo a: 1) adequação ao programa habitacional em toda a sua complexidade, 2) habitabilidade da unidade domiciliar, do edifício pluridomiciliar, do conjunto e dos seus espaços e 3) diálogo com o entorno ao nível dos sistemas urbanos, da morfologia e da paisagem urbana.

Turmas acompanhadas e respectivos docentes:

T01/P01: Prof. Marcos Queiroz
Prof. Eduardo Carvalho

T02/P02: Prof. Floriano de Araújo Mendonça
Prof. Neilton Dórea
Profa. Solange Souza Araújo
Prof. Ladislau Neto (consultor)

Turma Extra: Prof. Alberto Rafael Cordiviola

Ateliê IV

Departamento da Criação e Representação Gráfica

Ementa

O projeto de arquitetura e/ou urbanismo problematizado por sua complexidade, impacto e a questão estruturante do espaço urbano.

Turmas acompanhadas:

T01/P01: Profa. Esterzilda Berenstein de Azevedo (coordenadora)
Profa. Vânia Hemb Magalhães Andrade
Prof. Nivaldo Andrade