

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Arthur Hunold Lara

Modelos Dinâmicos de Representação no Ensino da Arquitetura e *Design*

Tese apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção da Livre-docência, junto ao Departamento de Tecnologia.

São Paulo
2016

Arthur Hunold Lara

Modelos Dinâmicos de Representação no Ensino da Arquitetura e Design

Tese apresentada à Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo da
Universidade de São Paulo como
requisito parcial para a obtenção da
Livre-docência, junto ao Departamento
de Tecnologia.

São Paulo
2016

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

E-MAIL DO AUTOR: arthurlara@usp.br

LARA, Arthur Hunold

L318m Modelos dinâmicos de representação no ensino da arquitetura e *design* / Arthur Hunold Lara. -- São Paulo, 2016.

177 p. : il.

Tese (Livre-docência - Departamento de Tecnologia) – FAUUSP.

1.Simulação 2.Materiais (Desempenho) 3.Modelos (Representação)
4.Modelagem paramétrica 5.Emuladores físicos 6.Materiais de alto
Desempenho. I.Título:

CDU 65.012.122

Aos meus pais, Francisco Jeronimo Salles Lara (*in memoriam*) e Adelaide Bertha Walkyria Hunold Lara, pelo esforço na minha educação e inspiração na vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa Maria do Carmo Custódio Hunold Lara, aos meus filhos André Custódio Lara e Théo Custódio Lara por todo carinho e pela compreensão das ausências do convívio familiar que tornaram este trabalho possível.

Aos meus colegas professores da Universidade de São Paulo, João Carlos de Oliveira Cesar, Marcelo Eduardo Giacaglia, Fausto Leopoldo Mascia, Cláudia Terezinha de Andrade Oliveira, Eleida Pereira de Camargo e Cyntia Santos Malaguti de Sousa, críticos e balizadores que trouxeram contribuições importantes ao desenvolvimento desta pesquisa. À professora Maria Gabriela Caffarena Celani da FEC UNICAMP e ao professor Andres Martin Passaro da FAU UFRJ e seus orientandos, que além das contribuições e críticas possibilitaram intensas trocas acadêmicas com convites para palestras, *workshops* e bancas acadêmicas que ampliaram os conhecimentos sobre o tema.

Ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo que abrigaram minha disciplina de onde nasceram direcionamentos desta pesquisa.

Aos meus alunos e pesquisadores que participaram ativamente durante a realização dos trabalhos práticos e das disciplinas sob minha responsabilidade, contribuindo para a discussão e a reflexão com diferentes pontos de vistas.

Aos meus orientandos Ulisses Terra, Paulo Magri e Thiago Omena por estarem sempre presentes oferecendo apoio em todos os momentos durante esse anos de dedicação à pesquisa.

Ao amigo escritor e velejador Celestino Bourroul Neto, revisor e crítico desta pesquisa. Sempre em busca de novos materiais, conhecimentos, teorias e práticas entre os esportes náuticos e Arquitetura

E finalmente, agradeço aos funcionários do Laboratório de Modelos e Ensaios (LAME) e do Laboratório de Programação Gráfica (LPG) da FAUUSP que não mediram esforços para a completa materialização desta pesquisa

RESUMO

LARA, A H. *Modelos Dinâmicos de Representação no Ensino da Arquitetura e Design*. Tese de Livre-docência – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2016. 177 p. : il.

Trata-se de pesquisa teórica e prática no campo da Arquitetura e do *Design*, acerca da evolução das metodologias de representação empregadas nas fases iniciais do processo de projeto. Cuida-se de expor e analisar a evolução das Entidades de Modelagem e dos Modelos Dinâmicos de Representação, com foco na melhoria do desempenho ambiental e acadêmico, com otimização da tectônica.

Pontua materiais elásticos e maleáveis empregados por arquitetos e engenheiros, bem como suas diferentes interações com as forças naturais. Visita seus modelos dinâmicos de ensaios e apresenta suas respectivas eficiências estruturais, conjugadas com os aspectos estéticos e formais.

Refaz um percurso paralelo, substituindo materiais elásticos por simulação física emulada, e compara as entidades em pequenas programações, verificando a potencialidade de modelos de representação dinâmica digital no ensino.

Objetiva-se defender a validade da utilização, na cátedra, de modelagens e simulações na criação, proposição, composição e confirmação de processos investigativos projetuais, por intermédio do uso de algoritmos e desenhos múltiplos que mesclam habilidades digitais e manuais.

Para tanto, com o lastro de ampla consulta bibliográfica concernente à temática, um percurso histórico é traçado e exposto de modo exploratório-analítico, revivendo conceitos e experiências, para, ao final, apoiando-se em pequenos experimentos realizados, concluir pela legitimidade e valor da proposta.

Palavras-chave: Simulação; Modelagem Paramétrica; Emuladores Físicos; Materiais de Alto Desempenho.

ABSTRACT

LARA, A H. *Representation of Dynamic Models in the Teaching of Architecture and Design*. Tese de Livre-docência – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2016. 177 f.

This is about theoretical and practical research in the Architecture and Design broad field, on the representation methodologies progress employed in in the early stages of the design process, taking care to expose and analyze the evolution of modeling entities, the representation of dynamic models, notably thought to improve the environmental and academic performance by optimizing the tectonics.

Scores elastic and pliable materials employed by architects, engineers, and their different methods to deal with natural forces. Visit their dynamic models tests with their respective structural efficiencies combined with formal aesthetic.

Redo a parallel route replacing elastic materials emulated by physical simulation, compares entities in small settings by checking the capability of digital dynamic representation models, focusing on education.

The objective is to defend the use validity, the chair, the constant modeling and simulating of such applications, able to create, propose, and compose or to confirm, through multiple simulations, multiple drawings, mixed with manual and digital skills.

To this end, and in the method of backed literature review in extensive consultation to books and articles concerning the theme, runs through the historical course of the subject under study, exposing exploratory and analytical way, concepts and experiences, just to do, at the end , concluding that its legitimacy and significant value through small experiments.

Keywords: Simulation. Parametric modeling. Physical emulators. Performance materials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Foto do Mecanismo de Anticítera	16
Figura 2	Brinquedo baseado no Pêndulo de Foucault	19
Figura 3	Pêndulo de Newton	20
Figura 4	Diciclo Segway	24
Figura 5	Senseless Drawing Bot.....	25
Figura 6	O Novo Sirius	27
Figura 7	Dynamic Tower	30
Figura 8	Suite Vollard, pichado	32
Figura 9	Casa Flutuante de Luis Fernando Bispo.....	33
Figura 10	Maquete da Casa Prática na Rio +20.....	34
Figura 11	Wall System no MCMV de Igrejinha (RS)	35
Figura 12	Parede translúcida de blocos POLLIBRICK.....	37
Figura 13	Geometria das garrafas recicladas	37
Figura 14	Fachada do EcoARK Taipei, Taiwan	37
Figura 15	Blade	39
Figura 16	Chassis Tubular	39
Figura 17	E-bike Trefecta da Trefectamobility	40
Figura 18	E-bike Trefecta dobrada	41
Figura 19	Brinquedo Para Todos - Geroge Philot.....	42
Figura 20	Fábrica-escritório 'coBLOgo'	44
Figura 21	Comparação entre as indústrias.....	55
Figura 22	Barco automatizado	71
Figura 23	Desenho Automotivo.....	72
Figura 24	Le carcere d'invenzione de Piranesi	74

Figura 25	Fita perfurada para CNC	79
Figura 26	Pré-radar de Detecção Acústica	80
Figura 27	O Primeiro Trackball	81
Figura 28	Scatchpad	82
Figura 29	O Primeiro Mouse	83
Figura 30	Apple 1 de 1076.....	84
Figura 31	Maquete Estádio	91
Figura 32	Foto e Modelo - Ponte Basento	91
Figura 33	Protótipo em Concreto - Ponte Basento	92
Figura 34	Anel Inferior do Giroscópio	94
Figura 35	Giroscópio com Simulação de Movimento em CGS.....	95
Figura 36	Construção Medieval de um Arco	98
Figura 37	Componente VB do Grasshopper.....	99
Figura 38	Curva Catenária em ADD	100
Figura 39	4D Print.....	107
Figura 40	Microesferas de Parafina	108
Figura 41	Régua Flexível do sec. VIII	110
Figura 42	Descrição do Algoritmo de Castejau	110
Figura 43	Spline com pesos, Engenharia Naval.....	111
Figura 44	Casco do Veleiro Moth	112
Figura 45	Modelagem 3D Moth	113
Figura 46	Desenho 2D Plano de Linhas do Moth	113
Figura 47	Jogo de curvas francesas	114
Figura 48	P51 Mustang.....	115
Figura 49	Asa do Concord.....	116
Figura 50	Curtiss XP-40 no túnel de vento	117
Figura 51	Catenárias - Casa Milà – Barcelona	118
Figura 52	Carta recusado o artigo de Candela	119
Figura 53	<i>Igreja (aquarela)</i>	121
Figura 54	Desenho Técnico de Cadela.....	121
Figura 55	Casca de Candela modelada no plugin Karamba	122
Figura 56	Tenda Congelada	123

Figura 57	Modelo em látex e gesso da fábrica Sicli AS	125
Figura 58	Modelo Mecânico - Panos suspensos tracionados	125
Figura 59	Marcações no tecido suspenso	126
Figura 60	Novas Cascas	127
Figura 61	Cenário - Show Pink Floyd, 1977	128
Figura 62	Experimento com Lã Molhada	129
Figura 63	Modelo de Membrana no Túnel de Vento.....	130
Figura 64	Distribuição das Tensões na Membrana	131
Figura 66	Membranas Tensionadas	131
Figura 65	Modelo com Bolha de Sabão.....	132
Figura 67	Vegreville Egg	133
Figura 68	Instalação Man-O-War	136
Figura 69	Membrana Simulada por PSS	137
Figura 70	Casca Complexa GH +Kangaroo.....	138
Figura 71	Viaduto Basento de Sergio Musmeci	139
Figura 72	SIGRADI 2015 - Óculos de Realidade 3D	141
Figura 73	Mini Karmann Ghia e Gurgel Jr. II da Macan.....	144
Figura 74	Gurgel 1200 Ipanema	144
Figura 75	Componentes do Gurgel 1200.....	144
Figura 76	Orelhão - Chu Ming Silveira.....	145
Figura 77	Abrigo de Ônibus - Av. Paulista	146
Figura 78	Materiais no Boeing 787.....	147
Figura 79	Processo de Pirólise/oxidação da Fibra de Carbono	148
Figura 80	Crescimento das Pás Eólicas.....	149
Figura 81	Agulha de Tecido de Alta Performance.....	149
Figura 82	Estrutura Interna da Pá Eólica	150
Figura 83	Selos Gráfico de Reciclagem.....	151
Figura 84	Eco Casa projeto Tatiana Terry e Luciano Alvares	153
Figura 85	Bancos de estádio - compósito reaproveitado.....	154
Figura 86	Kinect desmontado.....	157
Figura 87	Fluxograma do Kinect.....	158
Figura 88	Fotos do Estande da FAUUSP - USPITEC, 2012.....	159

Figura 89	Molde de Poliuretano sem e com Gelacoat	160
Figura 90	Cadeira Hospital Sarah	162
Figura 91	Redesenho do Monovelo	162
Figura 92	Modelagens da Cadeira Inclusiva	163
Figura 93	Perspectivas da Cadeira Inclusiva.....	163
Figura 94	Usinagem do aro da Cadeira Inclusiva	164
Figura 95	Modelagem do Eixo.....	165
Figura 96	Modelagem do Molde do Domos.....	166
Figura 97	Preparação dos Moldes.....	166
Figura 98	Modelos do Workshop	167

LISTA DE SIGLAS

- AAD — Desenho Assistido por Algoritmos [*Algorithms-Aided Design*]
- ACV — Avaliação de Ciclo de Vida
- BIM — Modelagem da Informação da Construção [*Building Information Modeling*]
- BMC — *Bulk Molding Compound*
- CAAD —Arquitetura Assistida pelo Computador [*Computer-aided Architectural Design*]
- CAD — Desenho Assistido por Computador [*Computer-aided Design*]
- CAE — Engenharia Assistida pelo Computador [*Computer-aided Engineering*]
- CAM — Manufatura Assistida por Computador [*Computer-aided Manufacturing*]
- CATIA — *Computer-Aided Three — Dimensional*
- CERN — Organização Europeia para a Investigação Nuclear
- CFD — Fluidodinâmica Computacional [*Computational Fluid Dynamics*]
- CNC — Controle por Comando Numérico [*Computer Numeric Control*]
- CSG — Modelagem Sólida Geométrica [*Construtive Solid Geometry*]
- EAC — Engenharia Arquitetura e Construção
- ECA — Escola de Comunicação e Artes da USP
- FD — Fabricação Digital
- IBGE — Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IPT — Instituto de Pesquisas Tecnológicas
- LNLS — Laboratório Nacional de Luz Síncrotron
- LR — Lógica Reversa
- MCMV — Minha Casa Minha Vida
- MDF — Placa de Fibra de Madeira de Média Densidade [*Medium-Density Fiberboard*]
- MDR — Modelos Dinâmicos de Representação
- MIT — Instituto de Tecnologia de Massachusetts
- MMF — Materiais de Mudança de Fase [*Phase Chage Materials*]
- NUI — Natural ao Usuário [*Natural User Interface*]
- ODS — Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
- OSB — Placa de Tiras de Madeira Orientada [*Oriented Strand Board*]

P&D — Pesquisa e Desenvolvimento

PAN — Poliacrilonitrila

PEAD — Polietileno de Alta Densidade

PET — Politereftalato de Etileno

PNARC — Programa ALMACO Nacional de Reciclagem de Compósitos

PP — Polipropileno

PR — Prototipagem Rápida

PRFV — Plástico Reforçado com Fibras de Vidro

PSS — Sistemas de Partículas Elásticas [*Particle-spring System*]

RA — Realidade Aumentada

RTM — Moldagem por Transferência de Resina

SGA — Sistema de Gestão Ambiental

SMC — *Sheet Molding Compound*

UNICAMP — Universidade Estadual de Campinas

USP — Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
Estado da Arte	29
Projetos Inovadores e Sustentáveis na Arquitetura.....	29
O Edifício Dinâmico do Arquiteto David Fisher.....	30
O Edifício Dinâmico no Brasil	30
A Casa Flutuante de PET de Luís Fernando Bispo	32
A CasaPrática de Compósitos.....	33
Pavilhão EcoARK.....	36
Projetos Inovadores e Sustentáveis no <i>Design</i>	38
Blade: O carro Impresso em 3D	38
Trefecta	39
Projetos Inovadores Brasileiros	41
Geroge Philot	41
SubDv	43
QUESTÃO INICIAL	44
AS HIPÓTESES.....	46
OBJETIVOS.....	46
Objetivos Específicos.....	47
JUSTIFICATIVAS	47
REFERENCIAL TEÓRICO.....	50
DISCUSSÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO	55
MATERIAIS E MÉTODOS	57
ESTRURURA DA TESE.....	62
CAP. 1 A REPRESENTAÇÃO NA ARQUITETURA E NO DESIGN	65
1.1 Parametrização e Sustentabilidade	65
1.2 Representação e o Desenho	65
1.2.1 Essência Formal	74
1.2.2Averiguação Formal.....	75
1.2.3 A Forma em Tempo Real	75

CAP. 2 — OS SISTEMAS DE AUXÍLIO À REPRESENTAÇÃO.....	79
2.1 Evolução dos sistemas CNC	79
2.2 Os Sistemas CAD de Auxílio ao Projeto	83
2.3 Os Sistemas Generativos	86
2.3.1 Estratégia e Programação	87
2.3.2 Aplicação Analítica	87
2.3.3 Algoritmos Genéticos.....	88
2.4 Desenho Paramétrico	90
2.5 Desenho Auxiliado por Algoritmos (AAD)	96
2.6 Modelagem da Informação da Construção (BIM)	101
2.7 Fabricação Digital.....	104
1.7.1 Novos Materiais	104
2.7.2 Impressão 4D	105
CAP. 3— MODELOS DINÂMICOS DE REPRESENTAÇÃO	109
3.1 Evolução das Curvas Suaves	109
3.1.1 Spline na Indústria Naval.....	111
3.1.2 Curvas Suaves na Indústria Aeroespacial.....	114
3.2 Curvas Suaves na Arquitetura	117
3.2 .1 Gaudi (1952-1926)	118
3.2 .2 Félix Candela (1910-1997).....	119
3.2 .3 Heinz Isler (1926, 2009).....	123
3.2 .4 Frei Otto (1925-2015).....	127
CAP. 4— SISTEMAS DINÂMICOS DE REPRESENTAÇÃO	133
4.1 O Atrator Estranho de Shaw	133
4.2 Emuladores Físicos.....	136
4.3 Modelos Dinâmicos de Representação e Simulação.....	139
4.4 Visão Computacional	140
4.5 Modelos e Simulação.....	141
CAP. 5 — OS COMPÓSITOS	143
5.1 Histórico dos Materiais Compósitos no Brasil.....	143

5.2 Materiais Compósitos	146
5.3 Compósitos de Alto Desempenho	147
5.4 Reciclagem dos Materiais Compósitos	150
CAP. 6 — PARTE EXPERIMENTAL	156
6.1 Projeto 1— Scannner 3D com o Kinect.	156
6.1.1 Desdobramentos.....	161
6.2 Projeto 2 - Cadeira de <i>Dancehabillity</i> com MDR	161
6.2.1 Desdobramentos.....	164
6.3 <i>Workshop</i> no SIGRADI2015	165
6.3.1 Desdobramentos.....	167
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	168
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	171

INTRODUÇÃO

Nós podemos tomar o estado presente do universo como o efeito do seu passado e a causa do seu futuro. Um intelecto que, em dado momento, conhecesse todas as forças que dirigem a natureza e todas as posições de todos os itens dos quais a natureza é composta, se este intelecto também fosse vasto o suficiente para analisar essas informações, compreenderia numa única fórmula os movimentos dos maiores corpos do universo e os do menor átomo; para tal intelecto nada seria incerto e o futuro, assim como o passado, seria presente perante seus olhos.

O intelecto hipotético
Pierre Simon Marquis de Laplace (1749-1827).

Muitas culturas têm mitos e contos ontológicos que servem de modelos para explicar seus mundos. Em geral, nesses modelos aparecem forças duais com propriedades divergentes e opostas. Uma que se aglutina para formar, somar e compor, e outra que se distancia, separa, quebra ou dispersa. As representações desses modelos podem ser gráficas como no símbolo do *Yin* e *Yang* da filosofia oriental. Também podem ser físicas, como a explicação astrofísica do universo, e químicas, como a do metabolismo humano. O que esses modelos têm em comum são as forças conhecidas como catabólicas e anabólicas. Na explicação astrofísica, o universo é formado principalmente pelas forças catabólicas que regem os movimentos dos planetas — estrelas e galáxias em expansão crescente. Na explicação física e química, a matéria é composta por forças anabólicas que aglutinam as moléculas—átomos, elétrons, *léptons*, *quarks* e *glúons* (PIMENTA et. al., 2013).

O Mecanismo de Anticítera surgiu nos anos 90 e revelou que poderia fornecer, com antecedência, as fases da Lua, seus eclipses e até a cor das suas fases, mecanismo este achado por mergulhadores de esponjas ao se abrigarem de uma tempestade perto da ilha de Anticítera, no mar Mediterrâneo. O objeto metálico foi resgatado junto com ânforas de um antigo navio naufragado. Após anos de análises e estudos, o pequeno

instrumento de bronze revelou o segredo das suas engrenagens sofisticadas que modelavam as órbitas circulares dos planetas e as fases da Lua.



*Figura 1 Foto do Mecanismo de Anticítera
Fonte: BBC Brasil*

A Lua e suas fases eram muito importantes para todo o império grego e seu sofisticado calendário lunar. Os calendários lunares são mais simples porque contam as fases da Lua minguante: o movimento de uma volta completa em torno da Terra se dá a cada 27 dias e 8 horas e tem o nome de lunação. Tornam-se mais complicados que os calendários solares porque precisam de ajustes. Para se tornarem precisos, nota-se, é inserido um mês ou acrescentadas algumas horas durante um ano para corrigir o relativo atraso. Os babilônicos utilizavam o Calendário Lunar Sumério no século XXI a. C. Estes influenciaram o calendário islâmico e o grego, estes baseados na lunação.

Atribui-se a Arquimedes a invenção do Mecanismo de Anticítera, considerado o primeiro computador, justamente pela sofisticação de seus cálculos e complexidade das engrenagens que ajustavam o calendário lunar grego numa pequena caixa de madeira.

A pesquisadora Beatris Bandeira¹ realiza comparações entre outros três dispositivos que se referem aos períodos do Sol e da Lua no zodíaco. O primeiro é o Mecanismo de Anticítera achado em 1901, do séc. II a.C., exposto no Museu Arqueológico Nacional de Atenas. Os outros dois dispositivos foram aparecendo a partir de 1983. O Calendário Bizantino do séc. VI d.C. é exposto junto ao Museu de Ciências em Londres, e o Calendário Astrolábio Persa de Muhammad b. Abi-Bakr of Isfahan, 1221/2 d.C., no Museu de História da Ciência em Oxford. Foram encontrados, como pontos a todos comuns, a presença de engrenagens com posições e períodos do Sol e da Lua na escala do que conhece por zodíaco. Em sua comparação, a pesquisadora conclui:

Ao buscarmos por critérios de originalidade e complexidade constatamos que o mecanismo de Anticítera é o único dispositivo portátil que, com mais de 30 engrenagens, põe em funcionamento um calendário anual (365 dias); apresenta o dia do mês, sete relógios subsidiários indicando vários eventos, dentre eles os Jogos Pan-helênicos, a escala do zodíaco (360º), a posição exata da Lua, suas fases e anomalias, a posição do Sol e sua anomalia, um calendário lunissolar, o ciclo Metônico (19 anos) e o Ciclo Saros (223 meses), assinalando a ocorrência de eclipses lunares (Σ) ou solares (H), data e hora. Assim, diante destas comparações e constatações, cabe nos afirmar que o Mecanismo de Anticítera em sua originalidade continua sendo o objeto investigativo mais antigo a desafiar a astronomia, a ciência, a sociedade e a tecnologia (BANDEIRAS, 2012, p. 7).

Os modelos explicativos geram dispositivos físicos que buscam explicar e simular as forças invisíveis presentes na natureza como o é a trajetória lunar. O surgimento dos dispositivos atraía a atenção e poder por revelar e prever fenômenos que podiam ser previstos, tais como as fases da Lua mais próximas da Terra que adquirem tamanho e coloração especial, a periodicidade dos cometas, os ajustes nos calendários solares e lunares, o movimento maior ou menor das marés, os movimentos das constelações e planetas etc.

Alguns desses dispositivos e teorias surgiram de forma desafiadora do modelo eclesiástico que se formou na Europa em torno do clero católico que afirmava que a Terra era o centro do universo. O modelo fora estruturado levando em conta os modelos do filósofo grego Aristóteles e o astrônomo e matemático Ptolomeu. A Renascença iria

¹ Doutoranda em Epistemologia e História da Ciência da Universidad Tres de Febrero — UNTREF — Buenos Aires.

confrontar o modelo eclesiástico com novas teorias, como a de Nicolau Copérnico (astrônomo e matemático polonês que afirmou que a Terra se movia em torno do Sol).

Antes da Renascença, o astrônomo Galileu Galilei foi o primeiro a estudar a força da gravidade e associá-la às forças de separação presentes nos movimentos dos planetas. Iniciou seus estudos astronômicos, matemáticos e filosóficos distanciando-se do conceito eclesiástico da centralidade da Terra (GALILEU NEWTON, 1987). Primeiro, observou as manchas solares do Sol e a aparição dos cometas com um telescópio aperfeiçoado por ele que era muito superior aos que circulavam na Europa em 1600. Depois, analisou os movimentos das marés com a influência da órbita lunar e, por fim, estendeu sua teoria aos movimentos dos objetos de artilharia, do pêndulo, do vento, das nuvens e do voo dos pássaros.

Galileu, ao observar o balanço de um lustre de uma igreja quando suas velas eram acesas, em uma cerimônia em Pisa, teve uma ideia. O movimento e a regularidade dos ciclos do lustre (de balanço regular e oscilatório) foram comparados com a frequência dos seus próprios batimentos cardíacos. Galileu sempre achava, nesta experiência, um número constante em função da diminuição das oscilações. Recriou, pois, o experimento com um pêndulo, anotando os números de oscilações em função do tempo, e, deste modo, criando um Modelo de Representação Dinâmico (MDR).

Galileu utilizou esses resultados dos experimentos com movimento-tempo para demonstrar o erro na hipótese de Aristóteles sobre a queda dos corpos com diferentes massas. Observou de fato corpos de massas distintas caindo da torre inclinada de Pisa e, dos mastros dos navios, as mesmas massas não caíam mais rapidamente que as primeiras; desprezando-se o efeito do ar (no vácuo) atingiriam o chão ao mesmo tempo, estabelecendo bases dinâmicas de grande valor comparativo.

E assim, sem esbarrar em nenhum inconveniente, poder-se-ia concluir que, por não ser natural, mas estranho o movimento conferido ao navio pela força dos remos, e por essa força a todas as coisas que nele se encontram, seja necessário que aquela pedra, separada do navio, reduza-se a sua natureza e volte a exercer sua pura e simples aptidão natural. Acrescente-se ser necessário que pelo menos aquela parte do ar, que é inferior às maiores altitudes das montanhas seja raptada e transportada circularmente pela aspereza da superfície terrestre, ou também que, como mistura de muitos vapores e exalações terrestres, siga naturalmente o movimento diurno; o que não acontece com o ar que está em volta do navio levado pelos remos: pelo que, argumentar do navio à torre não tem força de ilação porque aquela pedra que vem do topo do mastro entra num meio que não tem o movimento do navio; mas aquela que parte do alto da torre

encontra-se num meio que tem o mesmo movimento de todo o globo terrestre, de modo que, sem ser impedida pelo ar, mas sendo antes favorecida pelo seu movimento, pode seguir o curso universal da Terra (GALILEU GALILEI, 2004, p. 223).

Seus experimentos com os movimentos pendulares ajudaram a postular seu movimento regular, mesmo com várias amplitudes de corda, que foi incorporado à precisão dos relógios (GALILEU GALILEI, 2004). Somente em 1852 o físico e astrônomo francês Jean Bernard Léon Foucault concebe uma experiência pendular para demonstrar a rotação da Terra conhecida como Pêndulo de Foucault. Finalmente estava demonstrada e provada a rotação da Terra pelo desenho na areia elaborado por um pêndulo de 30kg, este fixado ao teto do Panthéon de Paris por um fio de 67 metros de comprimento.



*Figura 2 Brinquedo baseado no Pêndulo de Foucault
Fonte: Loja virtual Scottsofstow*

O embate entre os pontos de vista conflitantes de Galileu e da Igreja Católica, levou o astrônomo a um processo movido pela Inquisição, gerando assim dificuldades para a publicação de seus livros e, conseqüentemente, o desenvolvimento da Física e do Cálculo. Posteriormente Newton e Laplace desenvolveram as leis do movimento postuladas por Galileu, criando as bases da mecânica clássica onde o cálculo matemático poderia descrever o mundo, agora uma máquina previsível, calculável e regido por um tempo regular e cíclico.

O modelo inspirador de Newton (uma maçã caindo em queda livre), conclui que a força agindo na maçã era a mesma que atuava entre a Lua e a Terra: a gravidade. Suas teorias unificaram os movimentos cósmicos (órbitas dos planetas) aos movimentos terrenos (força da gravidade) e fizeram avançar o estudo dos movimentos pendulares.

Newton entra em cena como o grande unificador, o homem que conectou a física da Terra com a física dos céus. Em sua lei universal da gravitação, Newton mostrou que a lei de Galileu descrevendo a queda de objetos e as leis de Kepler descrevendo as órbitas planetárias são, em essência, expressões da mesma física, resultante da atração gravitacional entre dois corpos. Com isso, Newton aproximou os céus da Terra, permitindo que mentes humanas pudessem explorar os mistérios do cosmos. (GLEISER, 2014 p.80).

Newton desenvolveu um sistema pendular de conservação de energia onde o choque de uma pequena esfera é transmitido para outras vizinhas ordenadas em linha, propagando o movimento até a última esfera. Hoje o experimento é conhecido como berço de Newton, muito popular nos escritórios como ornamento de mesa (GALILEU NEWTON, 1987).



Figura 3 Pêndulo de Newton
Fonte: www.obardafisica.blogspot.com.br

Assim, a Física desenvolveu as bases matemáticas para um modelo de mundo cíclico e contínuo que procurou explicar o comportamento dos fenômenos naturais. O modelo de Newton não resistiu às postulações de um jovem cientista no início do séc. XX: Albert Einstein. Pelo estudo do comportamento da luz em presença das grandes massas cósmicas que são as estrelas, Einstein observou deformidades denominadas por ele de *curvatura do espaço-tempo* que o levaram a propor a Teoria Geral da Relatividade, onde postula a explicação do fenômeno gravitacional (STEWART, 1996).

O novo modelo explicativo o deixou muito popular e para prová-lo, Einstein teria que esperar por um eclipse lunar, fenômeno que distorceria a posição relativa de estrelas quando a luz do sol fosse ocultada pela Lua. A espera de Einstein por um eclipse foi atrapalhada pela eclosão da Primeira Grande Guerra. Após provada a teoria, se ocupou, na tentativa da unificação das outras forças da natureza.

A proposição do cientista alemão se ajustava para as grandes escalas do Cosmo, mas tornava-se incompleta nas pequenas escalas, onde uma outra força atuava ao nível molecular: o eletromagnetismo. Este unia os elementos atômicos com uma força anabólica. As forças da eletricidade e do magnetismo haviam sido unificadas por Maxwell em quatro elegantes equações que abriram caminho para a mecânica quântica na formulação de um novo modelo para entender o mundo subatômico que não tinha explicação na Física aplicada aos objetos celestes.

As forças ao nível molecular são aleatórias e o modelo explicativo aceito é probabilístico. Isto incomodou Einstein que acreditava que "Deus não joga dados", e o levou à procura infrutífera de uma teoria que unificasse todas as forças (STEWART, 1991).

Duas outras forças uma fraca e outra forte foram associadas ao nível molecular. O modelo explicativo para a liberação da força forte foi uma sala cheia de ratoeiras retendo pequenas bolas, ao ser lançada uma bola na sala todas as outras seriam liberadas criando uma reação em cadeia. A reação em cadeia era acompanhada de uma enorme liberação de energia da força forte que passara de anabólica para catabólica. A era atômica estava iniciada à partir do momento que foi possível controlar a liberação da força forte, com a criação da Bomba Atômica.

Uma teoria sobre a origem do universo foi proposta pelo físico Stephen Hawking ao estudar o colapso das estrelas e a formação dos *buracos negros*. A massa de toda estrela se concentra em um único ponto rompendo a deformação do espaço-tempo de Einstein. Nesse ponto a matéria sumiria na direção de um único ponto, as forças catabólicas e anabólicas se unificariam. Esse denso ponto seria um nada e obra do acaso. Assim, o físico postulou que o universo surgia do nada de forma inversa e semelhante ao surgimento dos *buracos negros*.

A sonhada unificação buscada por Einstein foi postulada pela Teoria das Cordas, ao propor os ínfimos filamentos de energia na forma de cordas cuja vibração configuraria os diversos elementos atômicos. Uma única corda básica seria a corda mestre e que delas derivam várias outras originando diferentes materiais. Ainda sem comprovação experimental, a Teoria das Cordas define onze dimensões paralelas ao nosso mundo, o que leva a discussão a um patamar mais filosófico do que propriamente científico.

No modelo dinâmico das órbitas planetárias o cálculo clássico funcionava perfeitamente, mas ao ser introduzido um terceiro elemento que alterasse as condições iniciais das órbitas, estas se tornavam instáveis e a ciência ainda não dispunha de ferramentas para um cálculo de previsibilidade. Em 1889, o matemático francês Henri Poincaré afirmou que o problema da previsão das órbitas era insolúvel quando eram introduzidas pequenas alterações nas condições iniciais, ou seja, com a introdução de um terceiro elemento.

A descoberta do “caos” das órbitas logo foi estendida para outros fenômenos da Natureza. O matemático Edward Lorenz estabeleceu, naquilo que conhecemos como *efeito borboleta*, que pequenas causas podem trazer grandes efeitos, dando origem à Teoria do Caos. O trabalho de Lorenz elaborado, em 1963 e os trabalhos do químico russo Ilya Prigogine em termodinâmica questionam o modelo determinista da física, uma vez que várias ocorrências no mundo físico são processos irreversíveis, sugerindo o abandono

dos modelos do pendulo regular em favor de novos modelos² que variassem com o tempo, como o movimento das nuvens, o comportamento dos fluídos e da fumaça.

No final dos anos 70, Robert Shaw observou os resultados dos estados das Equações de Lorenz (LORENZ, 1980) ao alterar o fluxo de uma torneira pingando, demonstrou com auxílio do vídeo a convergência em direção a algo que se chamou de Atrator Estranho. No final dos anos 90, o Laboratório de Fenômenos Não-Lineares (LFNL) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo reproduz um experimento semelhante ao experimento da torneira gotejante de Shaw (TUFAILE, 2000, p.1).

O modelo dinâmico de Shaw também contribuiu para unir pesquisadores de diferentes áreas (filosofia, física, medicina, e ecologia) em torno da imprevisibilidade dos sistemas rejeitando o modelo linear e previsível para o estudo de padrões e da complexidade.

Na década de 80, as lógicas nebulosas tornam-se como uma febre graças à evolução da computação gráfica; a partir de tal evento, pode-se entrar e visualizar os padrões infinitos da lógica fractal e o modelo explicativo da lógica *fuzzy*³, como é o caso do aparelho de ar condicionado. O aparelho injeta ar frio no ambiente à medida que ele vai elevando sua temperatura, criando um ponto estável. A máquina numérica foi amplamente utilizada para emular os padrões do infinito, verificando diversos padrões de fractais.

Hoje, o exemplo popular que emula a estabilidade de um sistema com lógica *fuzzy* é o dicitlo Segway⁴ Uma aplicação robótica para locomoção sobre duas pequenas rodas estabilizado pela lógica nebulosa *fuzzy*, permitindo sua movimentação através do

² Nesses estudos buscamos a utilização dos chamados modelos dinâmicos, ou seja, “modelos matemáticos que tratam de interações variáveis com o tempo(…)” (MELLO, 2007, p.14).

³ A lógica Fuzzy, também chamada de lógica difusa ou nebulosa, é a que admite valores não inteiros, fracionários: (0,5), 1/3 etc. Os valores lógicos difusos “podem ser” e “talvez”, estão entre um determinado intervalo, entre valores inteiros. A Estatística, a Química, a Meteorologia e a robótica são as áreas que mais usam as lógicas aproximativas e que lidam com valores instáveis.

⁴ Dean Kamen é americano e fundador da empresa de engenharia Deka Research & Development Co. Ficou conhecido pela invenções relacionadas com a mobilidade: o patinete Segway de 2001 e o iBOT Mobility System que auxilia os deficientes físicos com a dificuldade de subir rampas, escadas. Foi o idealizador do First organização voltada para incentivar os jovens por tecnologia e faleceu ao cair de Segway em um rio em 2010 aos 62 anos.

equilíbrio assistido por micro controladores e motores que estabilizam o sistema (CAVALCANTI, 1999)



Figura 4 Diciclo Segway
Fonte: Segway (www.segway.com)

Nos anos 90, surgem os primeiros sistemas de simulação aplicados à representação que trabalhavam em grandes e pesadas máquinas numéricas na década de 80. A redução do tamanho dos computadores e o aumento significativo da capacidade de processamento disseminou os sistemas dinâmicos para a indústria química, aeroespacial, naval, construção civil e automobilística. O MDR se espalhou para diferentes disciplinas, as modelagens 3D com variações de posições em função do tempo (animações) saem da manufatura para as artes gráficas, jogos eletrônicos, vídeo, TV e o cinema. No século XXI a Engenharia a Arquitetura e o Design utilizam o MDR em simulações e sistemas integrados simulando objetos, estradas e construções em tempo real, tornando nossos objetos, aviões, carros e edifícios, sustentáveis.

So Kano, artista coreano formado pela Escola de Graduação de Representação (IAMAS) e Takahiro Tamaguchi, *designer* da Informação na Escola de Pós-Graduação da Universidade Tama Art, criaram o Senseless Drawing Bot, um robô sobre um carrinho que

utiliza o Arduino⁵ com um pêndulo duplo e *spray* para fazer uma caótica pintura mural. Em 2009, lançaram a segunda versão com máquinas de jatos de tintas sob pressão.



Figura 5 *Senseless Drawing Bot*
Fonte: Solidsmack

Na física, a busca continuada pelo entendimento do comportamento das partículas no interior da matéria também lançou mão de MDR. Os aceleradores de partículas são enormes máquinas que utilizando eletromagnetismo, aceleram partículas sub-atômicas em direções opostas dentro de um anel gigante até que se choquem frontalmente a velocidades astronômicas, provocando sua desintegração em elementos ainda menores, muitos deles previstos teoricamente.

Através das colisões novas partículas e forças que são medidas por detectores e analisados pela máquina numérica. Os cientistas buscam decifrar as forças anabólicas que estão presentes na natureza. Recentemente o LHC (Large Hadron Collider – Grande Colisor de Hádrons) acelerador de partículas localizado na fronteira da França e Suíça,

⁵ Desde que o Arduino Project teve início em 2005, em Ivrea, Itália, com objetivos didáticos de baixo orçamento. Consiste de uma placa com um microcontrolador Atmel com componentes complementares para facilitar a programação e incorporação para outros circuitos. Os números de placas-clone não oficiais não param de superar o de placas oficiais. Michael McRoberts descobriu o Arduino em 2008, enquanto procurava formas de conectar um sensor de temperatura a um PC e criar um detector de nuvens para seu outro hobby, a astrofotografia. Utilizou o pequeno *hardware* em seu próximo projeto para enviar um balão de alta altitude ao limite da atmosfera, tirando fotos e gravando vídeos por diversão. McRoberts elaborou um manual técnico prático didático para iniciantes popularizando o Arduino (MCROBERTS, 2011).

com 27 km de extensão e 100 metros de profundidade da superfície terrestre entrou em operação. A Organização Europeia para a Investigação Nuclear (CERN) conta com participação de uma equipe de cientistas de vários países, inclusive brasileiros, que buscam entender composição e dinâmica das partículas que compõem o núcleo do átomo.

Em 4 de julho de 2012, cientistas do CERN anunciaram que, ao fim de 50 anos de investigação, foi comprovada a existência de uma nova partícula, prevista teoricamente: o Bóson de Higgs. A pesquisa procura a origem da massa das partículas elementares, numa busca que tenta explicar a origem do Universo estudando a assimetria entre matéria e antimatéria presentes nas forças reveladas pelo choque entre as partículas aceleradas.

Já no início dos anos setenta foi desenvolvido o modelo padrão da física de partículas elementares. O modelo padrão é uma teoria que pretende descrever de forma unificada as forças forte, fraca e eletromagnética, bem como todas as interações entre as partículas fundamentais que constituem a matéria, exceto a interação gravitacional. Esta teoria quântica de campos é consistente com a mecânica quântica e com a relatividade especial. No modelo padrão, os léptons e quarks são considerados constituintes fundamentais da matéria e a interação entre eles ocorre por meio da troca de bósons (partículas mediadoras). Os bósons do modelo padrão são o fóton (interação eletromagnética), os glúons (interação forte) e as partículas W^+ , W^- e Z^0 (interação fraca). O modelo padrão também prevê a existência do chamado campo de Higgs, que permeia todo o Universo dando massa a todas as partículas que interagem com ele, inclusive aos bósons vetoriais, como previsto no modelo eletrofraco. De acordo com o modelo padrão, quanto maior for a interação de uma partícula com o campo de Higgs, maior será a massa desta partícula, enquanto as partículas que não interagem com o campo de Higgs têm massa nula (PIMENTA et. al., 2013, p. 2306-2).

Pesquisadores da USP trabalham no acelerador de partículas Pelletron e participam do CERN através da rede de cooperação mundial. Em Campinas (SP), está em construção o novo Sirius — o novo acelerador de partículas que está em construção no Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM).



Figura 6 O Novo Sirius
Fonte: www.paulo-bruna.com.br

O projeto do novo Sirius é assinado pelos arquitetos Paulo Bruna e Pedro Bruna, Joan Font e Camila Schmid. O laboratório tem a o formato de um anel com mais de 500 metros de circunferência, instalado em um prédio de 250 metros de diâmetro. Orçado em R\$ 1,3 bilhão, o laboratório será financiado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

O Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), gerenciado pelo Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), opera, desde 1997, a primeira fonte de luz síncrotron do Hemisfério Sul, uma máquina de segunda geração, totalmente projetada e construída no Brasil. O projeto do novo Sirius está sendo desenvolvido pelo LNLS com a modelagem BIM, de modo a assegurar grande participação de empresas nacionais na fabricação de seus componentes.

A nova máquina é a única desse porte na América Latina. A tecnologia, de terceira geração, deverá analisar os mais diversos tipos de materiais, orgânicos e inorgânicos, em áreas de fronteira da Biociência, com foco em biotecnologia, fármacos, biomassa e biocombustíveis (etanol celulósico).

Até os dias de hoje, a ciência sempre necessitou de modelos dinâmicos explicativos, como o pêndulo e suas variações, para a compreensão dos movimentos dinâmicos das forças naturais. Esta pesquisa pontua as mudanças no ensino da

Arquitetura e o *Design* na contemporaneidade, visando a melhor eficiência estrutural e desempenho ambiental positivo.

No início a ciência era única (Alquímica) e não continha especialidades, divisões ou ramos distintos porque nossa compreensão dos fenômenos eram menores que as fantasias e crenças. À cada descoberta com provas e demonstrações públicas, a ciência entrou por caminhos distintos e foi se especializando. Desta maneira, a ciência afastou-se da magia voltando-se para elaboração de modelos explicativos de sua realidade objetiva do dia-a-dia. Os problemas práticos que buscavam por soluções científicas forçou a especialização.

Logo a ciência e todas as suas especialidades (Matemática, Física, Química, Biologia, Medicina etc.) necessitaram de modelos explicativos que ajudaram na compreensão das forças presentes na natureza. Estas, geralmente invisíveis e com grande poder de transformação, deveriam ser entendidas e controladas. Os Modelos Dinâmicos de Representação (MDR) materializam-se nos modelos explicativos existentes em dispositivos. Através dos dispositivos, pode-se simular e adiantar no tempo os fenômenos naturais, como ocorre no mecanismo de Anticítera.

A navegação o comércio e as ciências deram condições para a formação da primeira revolução industrial. A máquina começou a produzir bens e a transformar nossa sociedade. As cidades se tornaram centros urbanos com as fábricas e o comércio que necessitavam de mão-de-obra do campo e logo se tornaram centros produtores e, também, grandes poluidores. A energia consumida pelos centros produtores eram o vapor, carvão e, depois, o petróleo. O domínio atômico já na modernidade, foi uma esperança na eficiência energética.

O lixo radioativo e o risco de acidentes provocaram a sua substituição por energias limpas: hidroelétrica, solar, eólica, célula de hidrogênio etc. As fontes renováveis de energia provenientes de resíduos da produção agrícola mostram ser, por seu modo, importante alternativa, viável no Brasil; é o caso do Etanol e do Bioóleo.

O crescimento da população mundial e o aumento da produção de alimentos e de produtos em maior quantidade e menor velocidade é uma conta complicada de fechar positivamente para o meio ambiente. A pressão por fontes alternativas e renováveis de

energia, é de se pontuar, atinge o setor da EAC pelo seu alto consumo de energia na cadeia produtiva.

Estado da Arte

As tecnologias desenvolvidas em outras áreas do conhecimento são rapidamente adaptadas para as necessidades da Arquitetura Contemporânea e do *Design* que passaram a dar respostas icônicas de como o projeto pode lidar com o impacto ambiental. Os exemplos aqui analisados não vêm de obras de grande, mas de pequeno porte e espontâneas. Os projetos são pequenos no tamanho, mas trazem grandes inovações pelo diferencial nos seus processos construtivos que fogem do convencional. Alguns são caros e complexos, mesmo a se considerar as fases do planejamento à montagem, outros com custos reduzidos e de simples construção. Há projetos espontâneos que nascem do vácuo criado entre o excesso de lixo, da poluição e da ineficácia das autoridades de lidar com o resíduo urbano. A atual cultura de consumo não abarca o descarte correto de materiais nocivos ao ambiente, é de se observar.

As obras e objetos que combinam a inovação com sustentabilidade trazem novas tecnologias agregadas ao processo de projeto. A tecnologia interfere em todas as fases do projeto, possibilitando ao projetista manipular dados que passam despercebidos ao seu olhar. No quesito materiais e processos, há uma combinação de materiais novos com os tradicionais na direção da construtividade. Na representação, trazem uma experiência densa de quem conhece não só os materiais, mas se arriscam a misturar novas tecnologias e metodologias.

Projetos Inovadores e Sustentáveis na Arquitetura

Aqui serão destacados os primeiros projetos que nasceram com o diferencial de serem inovadores em sua arquitetura. Novas ideias e sistemas construtivos inéditos apresentavam processos utilizando novos materiais inovadores, prometendo eficiência e sustentabilidade. As propostas, em tese, também prometeram minimizar o problema habitacional com redução de custos, rapidez da construção, eficiência dos materiais,

redução do peso com melhorias no conforto térmico e acústico e, ainda, o uso da iluminação natural.

O Edifício Dinâmico do Arquiteto David Fisher



Figura 7 Dynamic Tower
Fonte: (www.dynamicarchitecture.net)

O projeto de um arranha-céu e sustentável do arquiteto italiano-israelense David Fisher promete que os andares possam dar um giro de 360º em 90 minutos. Inspirado nas máquinas de movimento perpétuo contam com uma construção modular pré-moldada encaixada sobre uma coluna central. Cerca de 79 turbinas eólicas deveriam gerar energia para se desfrutar de vista panorâmica giratória ao custo de US\$ 400 milhões. O sistema previa a conclusão de um andar a cada seis dias, com 600 pessoas na fabricação e 60 técnicos no canteiro.

Projeto foi iniciado em 2008 na cidade de Dubai, com possibilidades de construir torres ecológicas também na Rússia e nos Estados Unidos (Nova York). A Dynamic Tower de Dubai estava prevista para ser finalizada em 2010, mas atrasos no planejamento e projeto retardam a revolucionária obra que, para o autor, tão inovadora na Arquitetura quanto a revolução ocorrida na telefonia nos anos 90, quando a telefonia analógica sofreu a concorrência dos celulares digitais com tecnologia *wireless*.

Embora os problemas de gestão e construção tenham atrapalhado seu cronograma, a forma dinâmica dos edifícios inspirou outros projetos a pensar na dinâmica da Arquitetura e seu sistema construtivo, necessitando de automação que ainda não está presente nos canteiros de obras. A proposta de gerar energia eólica tirando proveito da forma será empregada em outros projetos arquitetônicos.

O Edifício Dinâmico no Brasil

No Brasil, um projeto de edifício giratório foi inaugurado em 2004, projetado e construído pelo arquiteto Bruno de Franco com o nome de Suíte Vollard — construído no Paraná, no bairro Mossunguê (Ecoville) em Curitiba. Com o diferencial de ser o primeiro edifício giratório no mundo, possui um sistema de movimentação de 360 graus independente para cada andar. Sua movimentação não é nada ecológica, pois dois motores movidos a energia elétrica fazem uma plataforma metálica, apoiada em uma laje (protendida), movimentar-se⁶.

Ao alto custo de US\$ 300 mil, ou pouco mais de R\$ 1.200 mil para cada um dos 11 apartamentos (um por andar) de 140 metros quadrados de área privativa, não chegou a ser habitado — dívidas trabalhistas e o alto valor do metro quadrado impossibilitaram sua comercialização. O Suíte Vollard foi penhorado e abandonado, indo a leilão em 2012. Um impasse na justiça ainda atrapalha seu relançamento. O edifício, abandonado, foi alvo de pichadores e da degradação e está com os tributos atrasados e sem o habite-se da Prefeitura.

⁶Laje protendida é um sistema estrutural que apresenta o concreto plano de pouca espessura estruturado com cabos de aço tracionados.



Figura 8 Suite Vollard, pichado
Fonte: (www.bemparana.com.br)

Caso o Suíte Vollard fosse integralmente vendido teria ainda mais problemas porque movimentar um edifício requer uma tecnologia que se sustente durante toda a vida útil deste. O peso, o desgaste e as substituições das peças e maquinários pesam ao longo da vida útil da obra arquitetônica. O investimento na escolha dos materiais corretos com a tecnologia adequada seria, indubitavelmente, um item a ser colocado como prioritário nesta obra.

A Casa Flutuante de PET de Luís Fernando Bispo

Os projetos que partiram para grandes obras enfrentaram diversos problemas, já em pequenas construções as promessas de uma construção inovadora e amigável ao meio ambiente tiveram soluções que se destacaram pela eficácia associada ao baixo custo.

A casa flutuante do Canal do Cunha chama a atenção pelo seu baixo custo. Feita com materiais de rejeito que flutuavam na Bahia da Guanabara, no Rio de Janeiro —

madeira, isopor e garrafas PET⁷ formam a balsa que sustenta a construção que conta com garagem para um carro e uma pequena piscina. O morador da Favela da Maré, Luís Fernando Bispo, teve esta inspiração quando trabalhou na Amazônia. Bispo fez pequenos serviços na construção civil e desde pequeno construía balsas com o lixo flutuante da Favela da Maré.



Figura 9 Casa Flutuante de Luis Fernando Bispo
Fonte: EXTRA - O Globo 12/04/07

A inovação, neste caso, foi adquirida após seu contato com os povos ribeirinhos da Amazônia. Bispo associou a sua tecnologia de construção de balsas de materiais descartados à tecnologia de construção amazônica, chamando a atenção de todos e também do secretário do meio ambiente do Rio de Janeiro que visitou a casa de flutuante de Bispo.

A CasaPrática de Compósitos

A CasaPrática, projetada pela MCV Plásticos para o Programa Minha Casa do Governo Federal (MCMV), tem sistema construtivo seco e rápido. O sistema construtivo é industrial baseado em processos de laminação de compósito. O modelo foi apresentado na Rio+20, Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável. O

⁷ O Politereftalato de Etileno (PET) é sigla do plástico reciclável que compõe as embalagens plásticas das bebidas, em especial, os refrigerantes.

conforto térmico e acústico é assegurado pelo sistema Wall System, composto por estrutura sanduíche de lâminas em plástico reforçado com fibra de vidro e núcleo com isolamento térmico e acústico da MCV/Polopast.



*Figura 10 Maquete da Casa Prática na Rio +20
Fonte Secco (www.secco.com.br)*

A empresa, ligada ao grupo Marcopolo, iniciou suas atividades em 1989 na cidade de São José dos Pinhais, Paraná. A partir de 2003, separou-se do segmento automotivo com a criação da MVC Building que se dedicaria a construção do Wall System. Atualmente, a MVC possui unidades produtivas em São José dos Pinhais (PR), Catalão (GO), Sete Lagoas (MG), Caxias do Sul (RS), Camaçari (BA), Maceió (AL) e Itumbiara (GO), estas que fabricam plásticos de engenharia (componentes em termoplástico e termofixo) nos processos de Extrusão, Vacuum Forming, RTM, Infusão, Laminação Contínua e Pultrusão. O grupo desenvolve materiais para as indústrias automobilística, aeronáutica, naval e militar. Para 2015 previa-se a exportação do sistema para a Alemanha com a finalidade de abrigar refugiados sírios.



Figura 11 Wall System no MCMV de Igrejinha (RS)
Fonte: Almaco (www.almaco.org.br)

Os insucessos dos grandes projetos “inovadores” acabaram por influenciar a análise de projetos de pequeno porte. Assim, o estado da arte dos projetos analisados é modesto; porém, foram premiados porque alcançaram objetivos dentro das limitações tecnológicas existentes. Além da inovação tecnológica, é essencial o uso de materiais e processos que não agridam o meio ambiente. O mote ambiental dos projetos alcançou o sucesso em razão da metodologia adotada mesclar tecnologias de diferentes áreas com adaptações para a construção civil.

Em relação à forma, os projetos ainda refletem um posicionamento “comportado”. Fogem do estigma espetacular da arquitetura global presentes nos museus, estádios e centros financeiros, construídos por grandes escritórios e empregando os “stararchitects⁸” que fazem uso de uma tecnologia que ainda não está disponível no mercado, consomem orçamentos suntuosos e acabam espalhando o Efeito Bilbao, de uma arquitetura descolada da cultura local e portanto asséptica e com forte dependência do poder econômico.

⁸ O termo arquiteto-celebridade [*stararchitects*] foi criado pelos editores da *Perspecta 37* em um número dedicado à fama e à arquitetura para os arquitetos formadores de opinião do mundo globalizado que têm no seu portfólio obras icônicas internacionais que garantem um passe livre para as entrevistas de TV, editoriais de revistas, colaborações em produtos de marcas famosas que vão de acessórios para banheiros criação de novas grifes. (SYKES, 2013, p.21.)

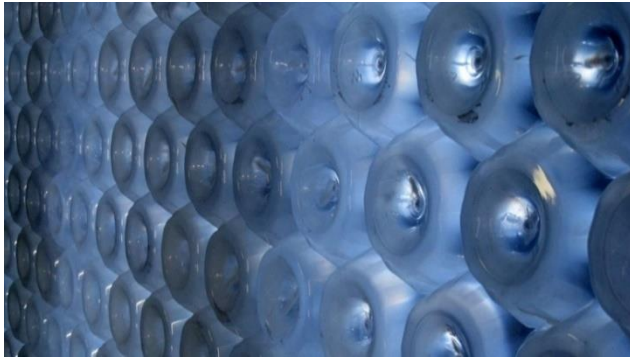
Os projetos escolhidos apresentam uma forma dinamizada em função de um rigoroso escopo de projeto que será detalhado em cada projeto. Os quatro projetos escolhidos também são realmente eficientes na questão energética e trazem adaptações das tecnologias aero espacial, naval e automobilísticas que são analisados em dois níveis, um internacional e outro nacional.

Pavilhão EcoARK

Projeto: Arthur Huang
Área Terreno: 4000 (m²)
Área de Projeto: 2000 (m²)
Prêmios: O Prêmio Terra 2010, categoria produto

O jovem arquiteto taiuanês Huang, formado pela Cornell University de Nova York com Mestrado em Arquitetura na área de concentração, desenvolvimento e sustentabilidade de Harvard GSD, é o cofundador e diretor da MINIWIZ, uma empresa com sede em Taipei, Taiwan (Formosa). Ela se dedica à reciclagem de lixo e à sua conversão para materiais de alto desempenho com baixas emissões de carbono. Os produtos da empresa vão de edifícios, decoração de interiores, produtos de consumo a barcos e aviões. A tecnologia desenvolvida na MINIWIZ gerou soluções inovadoras na construção do Pavilhão EcoARK, localizado também em Taipei.

O projeto é inovador ao apresentar uma estrutura totalmente funcional, feita de lixo, para a exposição internacional Flora Expo 2011. Foram empregados cerca de 1,5 milhão de garrafas de plástico usadas que formam blocos POLLIBRICK™. Os blocos são projetados para acomodar as geometrias das garrafas, na forma de um favo de colmeia. As garrafas não são comuns, mas com uma geometria especial que facilita o agrupamento. O bloco de garrafas recicladas é maleável, de grande flexibilidade e resistência. Ele pode suportar os tufões e terremotos comuns na região e ainda filtra a luz pela transparência das garrafas que podem ser totalmente desconectadas, permitindo a uma rápida desmontagem.



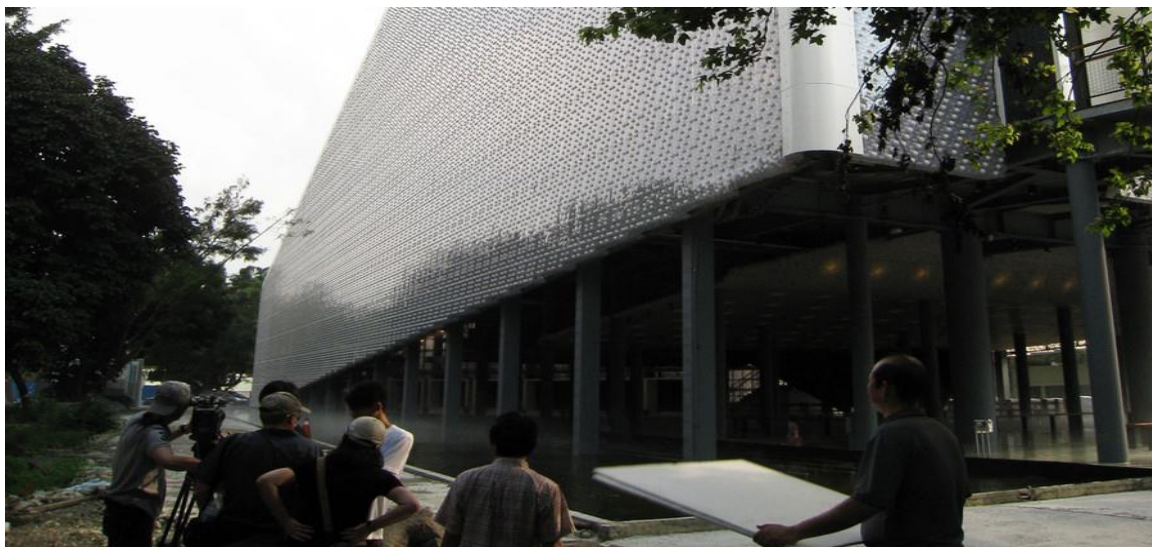
*Figura 12 Parede translúcida de blocos POLLIBRICK
Fonte: National Geographic*



*Figura 13 Geometria das garrafas recicladas
Fonte: National Geographic*

O ambiente interno, com três andares, é confortável por ter ventilação natural, uma cachoeira que banha a estrutura em água coletadas das tempestades, aproveitando as propriedades de isolamento dos blocos POLLIBRICK™. Energia solar embutida captada durante o dia, por sua vez, aciona sistemas de iluminação LED do EcoARK à noite.

O pavilhão EcoARK é considerado um novo marco para o futuro dos edifícios verdes com a proposta de "Reduzir, Reutilizar e Reciclar". Ele pesa 50 por cento menos do que um edifício convencional e ainda é forte o suficiente para suportar as forças da natureza, incluindo tufões e o fogo.



*Figura 14 Fachada do EcoARK Taipei, Taiwan
Fonte: National Geographic*

Projetos Inovadores e Sustentáveis no *Design*

Serão analisados projetos de *design* que trazem diferenciais e mudança de paradigma, com possibilidades de reaproveitamento da metodologia empregada na educação da Arquitetura. Os projetos são inovadores e trazem propostas de fato novas para a linha de montagem, sempre visando o baixo consumo de energia com a máxima eficiência da forma. Por serem produtos destinados ao segmento esportivo, trazem a exigência de alta *performance* associada à concepção do projeto.

Blade: O carro Impresso em 3D

Projeto: Divergent Microfactories
Material: Alumínio, fibrocarbono
Potência: 700 Cv
Peso: 635 kg

Carro criado pelos engenheiros da Startup⁹ norte-americana Divergent Microfactories de São Francisco nos EUA. O primeiro protótipo foi impresso com tecnologia de FD utilizando método inovador de impressora a laser que utiliza o material à base de alumínio. Seu chassi (Figura 16) é tubular com 'nós' onde se encaixam os com tubos de fibra de carbono que funcionam como os blocos de construção *Lego*. Essa nova tecnologia e o processo de construção original fazem com que o carro seja extremamente leve. Assim, elimina-se a necessidade braços robóticos para soldagem tradicionalmente utilizadas nas grandes montadoras. Muitos carros se dizem ecológicos, recicláveis mas são elaborados em linhas de montagem tradicionais que além de consumirem muita energia são grande poluidoras e não convivem amigavelmente com o meio ambiente urbano.

Segundo a empresa californiana, todo o chassi pode ser construído em poucos minutos por trabalhadores sem qualificação, em qualquer lugar. Seu projetista criou o diferencial de montagem com um chassi tubular para fugir das linhas robóticas sem soldas

⁹ Termo em inglês que significa começar algo. As startups surgiram no Vale do Silício na região da Califórnia ligadas ao efeito “bolha da Internet” nos anos 90. Propõem um modelo de negócio escalável e repetível, hoje estão consolidadas e exercem fascínio tecnológico por terem nascidas com baixo investimento associadas a jovens empreendedores com ideias rentáveis.

e prensas pesadas. Deste modo, o processo construtivo é manual economizando dinheiro e recursos. Até mesmo os carros mais eficientes em combustível aumentam sua pegada de carbono simplesmente por serem manufacturados em fábricas tradicionais.



Figura 15 Blade
Fonte: (www.divergentmicrofactories.com)

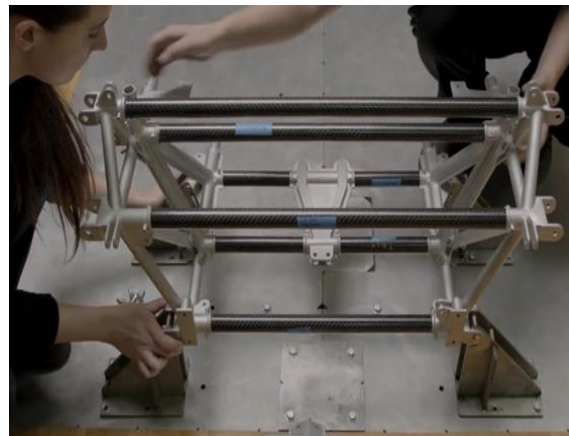


Figura 16 Chassis Tubular
Fonte: (www.divergentmicrofactories.com)

Trefecta

Projeto: Haiko Visser (Trefectamobility), Marco Hösel (ciclista) e Norbert Haller (designer)
Material: Quadro 20" de alumínio e rodas de fibra de carbono com 18 marchas
Capacidade: 150kg

Trefecta é um produto da Trefectamobility, empresa fundada por Haiko Visser em parceria com engenheiros holandeses, suíços e alemães que se uniram para projetar um veículo híbrido inovador para a mobilidade urbana. O projeto de 2013 objetivou unir todos os tipos de bicicletas em um único veículo para enfrentar variados tipos de terreno. Os projetistas da Trefecta Mobility são profissionais experientes em engenharia automotiva e aeroespacial que somaram suas paixões e habilidades com as bicicletas esportivas para Montanhas (Mountain Bikes), no desenvolvimento de uma bicicleta elétrica urbana e fora de estrada (Off Road) que emprega componentes robustos que estabelecem um novo padrão para as bicicletas elétricas em todo o mundo.



Figura 17 E-bike Trefecta da Trefectamobility
Fonte: (www.trefectamobility.com)

As *bikes* vêm em duas versões flexíveis; - *Off roader* 'DRT' e 'URB' para uso urbano. Ambas são equipadas com um motor de 4 kW alimentado por uma bateria de 60 volts que se recarrega em três horas e proporciona uma autonomia de 100 km em diferentes terrenos. O sistema de pedal é sensível à força do piloto que é assistida pela força do motor elétrico. O conjunto dessas duas forças permite atingir velocidades até 70 km/h.

Uma mistura de moto com bicicleta para terrenos montanhosos movida a pedal. Na essência, é uma bicicleta elétrica que não utiliza os tradicionais tubos que foram substituídos por uma estrutura de alumínio flexível de liga de alumínio 7075 ¹⁰ que tem especificações para uso em equipamentos militares. O diferencial do projeto é que apresenta uma estrutura reforçada e resistente que assegura proteção em todos tipos de terreno. Os recursos embarcados incluem um computador e uma bateria elétrica que pode ser facilmente retirada, substituída ou recarregada.

A *E-bike* (bicicleta elétrica) pode também ser dobrada para ser facilmente transportada para lugares diferentes. O projeto apresenta aqui um grande diferencial porque as peças se encaixam com muita facilidade. Isso não seria possível com um chassi

¹⁰A liga de alumínio 7075 é composta principalmente de zinco como agente de liga de alumínio, bem como os níveis mais elevados de magnésio e cobre. Composição que a torna tão dura como muitos aços, mantendo as qualidades leves de alumínio. O alumínio 7075 é amplamente utilizado na construção de aviões militares e é também utilizado para a construção de barcos e em algumas partes de automóveis.

tubular. Ao romper o paradigma do chassi tubular com uma estrutura de chapas de alumínio, a forma plana se fecha uma ao lado da outra. Como as lâminas de um canivete, assim se consegue um espaço otimizado.



Figura 18 E-bike Trefecta dobrada
Fonte: (www.trefectamobility.com)

Projetos Inovadores Brasileiros

Os projetos brasileiros selecionados são dirigidos por elementos com formações individuais se completam no o uso das novas tecnologias. Em equipes pequenas e familiares, os escritórios colecionam prêmios e assumem relevância no cenário brasileiro de desenvolvimento, inovação, sustentabilidade e são impulsionadas pelo uso de novos materiais associados com tecnologia de ponta.

*Geroge Philot*¹¹

Projeto: Brinquedos para Todos

Empresa: Dumont — Tecnologia Acessiva — São José dos Campos - SP

Prêmios: Nacional “Invento Brasileiro”, 1986 e 1993 — Governador do Estado de São Paulo

¹¹ George Philot, engenheiro e *designer* fundador da empresa Dumont, voltada para acessibilidade (<http://www.dumontbrasil.com.br/>). A empresa nasceu na CECOMPI, Parque Tecnológico de São José dos Campos, SP. Junto com a terapeuta e esposa, Gisleine Martin Philot, desenvolveu o projeto Brinquedos para Todos em que os aparelhos foram pensados para a inclusão, formando um parque de diversões acessível.

Designer que se especializou em produtos inovadores voltados para acessibilidade, Philot amplia a movimentação sinestésica através de equipamentos especiais que misturam objetos de treinamento para pilotos aeroespaciais (como o giroscópio), com brinquedos de um parque infantil, permitindo um “voo” controlado por cabos, roldanas e engrenagens. Além do giroscópio, o designer criou uma asa delta, um balanço e um carrossel. Todos os brinquedos são inclusivos, acessíveis e adaptados por cintos especiais, fivelas e roldanas. Cada equipamento permite ao usuário um tipo de movimento específico com segurança e conforto. A tecnologia acessiva da Dumont se especializou em soluções de alta qualidade para pessoas com necessidades ergonômicas especiais. Desenvolve uma linha de mesas, cadeiras, bancadas e produtos. Faz consultorias na adequação dos aeroportos em relação as resolução 208/2013 da ANAC. A escada OLYMPUS é um produto para embarque e desembarque de passageiros com necessidades especiais.



*Figura 19 Brinquedo Para Todos - Geroge Philot
Fonte: Youtube*

O diferencial da Dumont está na transposição de conceitos e materiais empregados na indústria aeronáutica para os brinquedos, mesas e equipamentos especiais. São José dos Campos contém um parque tecnológico voltado para a indústria aeroespacial que requer tubos e conexões em materiais leves e soldas especializadas que

permitem projetos leves e resistentes. Os tecidos, espumas, cintos fivelas, conexões empregados nas aeronaves são incorporados nos produtos da Dumont. Além do material, há um diferencial no desenvolvimento de projetos para o espaço reduzidos das aeronaves.

SubDv

Projetos: Análises Ambientais, Projetos Culturais, Interiores e Residenciais

Empresa: SUBDV São Paulo - SP

Prêmio: CoBLOGó – Fábrica finalista BATIMAT 2015 Energy Performance & Architecture Award, Paris 2015.

Na área da arquitetura, o escritório SubDv, dos arquitetos Anne Save de Beaurecueil e Frank Lee, utiliza tecnologias de design paramétrico com o uso de FD para gerar geometrias sensíveis para edifícios e projetos urbanos voltados para o melhor desempenho ambiental. Os projetos são realizados através de uma negociação entre as entidades formais e informais, combinando computação e fabricação digital com técnicas locais e materiais alternativos e reciclados.

Os princípios de uma arquitetura que condiz com o contexto ambiental estão na base da física e da geometria da insolação aplicadas ao projeto de edifícios e espaços abertos, como visto em um grande leque de precedentes da história da arquitetura. No Brasil, a arquitetura modernista deu grande ênfase à importância das projeções solares e da ventilação natural na busca pelo conforto ambiental. Nesse contexto, os brises-soleil e as paredes do cobogó (elemento vazado), entre outros componentes e aspectos da forma, tiveram um papel marcante na formação de uma expressão arquitetônica bioclimática, ou de inserção ambiental (BEAURECUEIL, 2015, p. 313) (Tradução Nossa).

Elaborando uma mediação entre cultura e Natureza, o escritório SubDv trabalha com sistemas ambientalmente sensíveis. O desenho paramétrico gerativo associado a aplicativos paramétricos com materiais e técnicas locais formam o conceito *High-tec. Low-tec*, ou alta tecnologia na geração do componente arquitetônico com o emprego de ferramentas computacionais e FD e baixa tecnologia empregando a produção local associada às matérias recicladas, ou reaproveitadas. A combinação das técnicas simples com as sofisticadas propõem um reaproveitamento que associa valores culturais locais e técnicas globais; assim, materiais são realocados e utilizados em novos contextos. Os

materiais ganham novo sentido e nova expressão arquitetônica e vez de serem simplesmente reciclados com uso similar.



Figura 20 Fábrica-escritório 'coBLOgo'
Fonte: SubDv

O anexo da fábrica-escritório em São Paulo, Brasil, emprega o conceito "high-low", onde a fachada cria um *brise soleil* "tropicalizado" com estética digital onde os blocos de concreto assumem posições rotativas. Há referência ao sombreamento do tradicional elemento brasileiro "Cobogó", muito utilizado pelos arquitetos modernistas. A "segunda pele" controla a filtragem de indireta da luz solar. As maiores aberturas entre os blocos estão rotacionadas na direção dos ventos predominantes. Assim, o ambiente interno é fresco e banhado em uma luz natural difusa.

A produção do escritório é globalizada, com participações nas Bienais de Beijing e Rotterdam, a Exposição Atenas Synthasoris, o Festival de Arquitetura de Londres, o Museu de Arte Moderna (MAM) de São Paulo e vários trabalhos sociais nas periferias de São Paulo, onde o Panorama 33 de Exposições e o Festival Internacional de Linguagem Eletrônica (FILE) completam a lista.

QUESTÃO INICIAL

A primeira grande mudança foi no emprego de modelos assistidos pela máquina numérica que aos poucos, passou para os desenhos assistidos por computador Computer Aided Design (CAD) onde somente o processo de croquis era feito à mão livre. Com a introdução do desenho paramétrico, os sistemas de representação passaram a dialogar com dados e outras geometrias, ganhando dinamismo e movimentação (OXNAN, 2006).

A simulação passa a ser parte da representação de projeto, invertendo etapas, levando o projeto a ser antecipado nas telas e a passar diretamente para modelos em 3 D através da Fabricação Digital (VOLPATO, 2007). Os sistemas puderam ser integrados de forma semelhante ao que ocorre na manufatura com o Computer Aided Manufacturing (CAM), (SCODECK, 2005). Estas transformações estão relacionadas à máquina numérica e seus aplicativos gráficos que potencializaram os meios de representação ligados à lógica de projeto com auxílio da computação gráfica (MITCHELL, 2008).

O desenho paramétrico com a simulação apresenta uma arquitetura algorítmica que oferece ao projetista inúmeras possibilidades de projeto assistidas pelos aplicativos voltados às tomadas de decisões e às possibilidades de aplicações de novas geometrias e algoritmos. (KOSTAS, 2006).

A integração dos sistemas rumo à eficiência, a redução energética, o desenvolvimento de tecnologia de simulação e parametrização permitiram uma correta integração entre MDR, Fabricação Digital (FD) e emprego de materiais de alta performance que levaram a um melhor resultado rumo à sustentabilidade e ao atendimento de novos certificados e protocolos (ASHBY, 2011; SALINGAROS, 2010). Segue-se a integração dos sistemas rumo à eficiência e à redução energética.

As complexidades das construções arquitetônicas já configuram um cenário real a ser enfrentado com a utilização de metodologias e terminologias (GIACAGLIA et al., 2012) adequadas aos novos materiais que conferem novas possibilidades.

A pesquisa tem como questão inicial testar a metodologia de Modelos Dinâmicos de Representação (MDR) ligadas à Arquitetura e ao *Design*. As técnicas de modelagem e simulação foram adaptadas com objetivos de baixar seus custos de produção com

objetivos pedagógicos voltados para o ensino de Arquitetura que emprega a Fabricação Digital (FD) com o uso de resinas e fibras de alto desempenho, associando o emprego de materiais compósitos em projetos concernentes a situações extremas.

AS HIPÓTESES

As hipóteses desta pesquisa surgiram com as tecnologias de auxílio da representação de sistemas dinâmicos paramétricos com ênfase na programação. Nos cursos de Design e Arquitetura a interlocução da tecnologia de parametrização é recente. O ensino nestas áreas tem uma tradição com o uso de modelos estáticos e sem simulação. O ensino da prancheta analógica priorizando o desenho arquitetônico ou técnico é dado nos primeiros anos da graduação e somente nos anos seguintes da graduação os alunos têm contato com o desenho assistido pelo computador (CAD). É recente a possibilidade de elaborar modelos dinâmicos nas telas e materializá-los em máquinas robotizadas através da FD. A metodologia potencializa a tradição do ensino com modelos da escola; as novas máquinas compartilham a mesma oficina, ligando processos novos e antigos.

Antes, os modelos eram desenvolvidos manualmente e não havia procedimentos ou técnicas tão inovadoras. Os modelos mais utilizados eram o de volumetria e de topografia que eram usados apenas nas primeiras fases dos projetos. Agora, os primeiros desenhos podem ser representados em ambiente de simulação física, criando MDR de projeto. Para que isso ocorra, as hipóteses necessárias são:

- Os processos de desenho à mão livre podem ser combinados com os Modelos Dinâmicos de Representação (MDR)?
- A constante evolução tecnológica das áreas (aeroespacial, naval e automotiva) podem ser adaptadas para o ensino da Arquitetura e do *Design*?
- O uso de MDR potencializa o projeto de Arquitetura e *Design* na direção da sustentabilidade?

OBJETIVOS

A pesquisa tem como objetivo principal testar a metodologia de Modelos Dinâmicos de Representação (MDR) ligadas à Arquitetura e ao *Design*. As técnicas de modelagem e simulação foram adaptadas com objetivos de baixar seus custos de produção com objetivos pedagógicos voltados para o ensino de Arquitetura que emprega a Fabricação Digital (FD) com o uso de resinas e fibras de alto desempenho.

- Associar esboço de projeto à representação dinâmica;
- Simular com o controle de forças físicas;
- Gerar modelos físicos executados com FD;
- Empregar moldes e materiais de alto desempenho.

Objetivos Específicos

A pesquisa associou o emprego de materiais compósitos em projetos concernentes a situações extremas.

- Adaptou a tecnologia de infusão de compósitos a vácuo em moldes com FD;
- Testou a moldagem em materiais compósitos;
- Mesclou e adaptou as metodologias aeroespacial, automobilística e naval na Arquitetura e no *Design*;

JUSTIFICATIVAS

O paradigma tradicional da Arquitetura ainda depende cadeia produtiva com o emprego de uma produção linear e artesanal. A baixa industrialização reflete uma preocupação excessiva com a estética modernista e com o rigor da geometria euclidiana. A produção de edificações difere da produção da manufatura pelo uso de mão de obra com pouca qualificação, baixa tecnologia e não reciclagem dos materiais utilizados. Assim, a gravidade e o empilhamento dão conta de pesadas construções (KIRIAN, S.; TIMBERLAKE, 2004).

É comum na Arquitetura Tradicional um grande desperdício de material, um alto consumo de energia e o uso do sistema estrutural ortogonal, com a estrutura e a distribuição de forças baseados no Vetor Ativo (ENGEL, 2001). Os materiais mais utilizados são: madeira, tijolo, aço e o concreto armado. O resultado são obras pouco eficientes e não amigáveis com o ambiente.

Quando os edifícios ganham em altura, o sistema estrutural utilizado passa a ser Seção Ativa com elementos repetidos constituídos de formas retas e lineares com vigas e apoio nas extremidades mantendo a angulação de 90°. Para que a altura fosse otimizada, placas e lâminas juntam-se em pórticos característicos do sistema de Altura Ativa. A forma de lâminas permitiu que as paredes e lajes fizessem parte do mesmo sistema estrutural. A articulação dessas lâminas protendidas ganha liberdade formal com o uso do nervuras, lajes inclinadas e superfícies triangulares e curvadas (ENGEL, 2001).

A industrialização da produção arquitetônica esbarra em vários obstáculos. A escala da arquitetura demanda a remodelação da produção, da formação de profissionais, dos parceiros, dos fornecedores e da própria formação do arquiteto. As mudanças para tornar a arquitetura mais eficiente e sustentável vão na direção da redução do desperdício de materiais e da diminuição do tempo do planejamento do projeto e execução da obra.

A pesquisa visa uma nova metodologia de projeto que aproxima a Arquitetura da manufatura das indústrias Aeroespacial, Automotiva e Naval. Nestes setores, o projeto assume o formato digital para reduzir o ciclo de vida dos produtos com aumento da qualidade na produção que é totalmente automatizada. Novas técnicas de montagem por conjuntos em linhas de montagem não lineares com a utilização de sistemas integrados produzem aviões, foguetes, satélites, navios e carros. A transposição e adaptação desse sistema construtivo para as edificações está em andamento nas últimas décadas.

A proposta de pesquisa foca a inovação e a sustentabilidade em processos que necessitam de um conhecimento de fibras naturais e sintéticas, novos aplicativos de auxílio ao projeto e novos equipamentos.

A metodologia de projeto da Prototipagem Rápida (PR) e a Fabricação Digital (FD) (Wang, 2002) já é utilizada no design de produtos e na arquitetura (Volpato, 2007 e Liou, 2008), a FAUUSP já emprega as tecnologias de FD, porém ela não está associada aos

moldes, à laminação e às fibras, por falta de pesquisas que incorporem as técnicas já empregadas nas áreas aeroespacial, náutica e automotiva.

O uso de poliuretano, isopor e MDF são frequentes em modelos nas escolas de Arquitetura e Design com a utilização de FD. A representação dinâmica em modelos de estudo não é utilizada porque os aplicativos com simulação física são recentes e mais utilizados no estudo de conforto térmico, insolação e acústica.

Modelos de Representação Dinâmica com Simulação são apresentados para mesclar com a Representação Estática tradicional. A metodologia é encontrada apenas em centros avançados de pesquisa e ainda não é empregada no ensino de Arquitetura. O uso de simulação aliado ao uso de resinas e materiais fibrosos necessitam de estrutura adequada para o emprego de moldes, injeção de polímeros e laminação de compósitos. Não são todas as escolas de Arquitetura e Design que têm oficinas que abrigam a tecnologia, mas uma adaptação pode levar a tecnologia às escolas com a simplificação e uso de maquinários de pequeno porte.

É possível explorar a diversidade vegetal brasileira e desenvolver uma cultura de materiais e técnicas produtivas que não agridam o meio ambiente e, ao mesmo tempo, possibilite ao projetista pensar o projeto na totalidade de seu ciclo de vida. A pesquisadora Nadja Maria Mourão na sua pesquisa com design sistêmico utilizando fibras de coco com produção artesanal no serrado mineiro salienta:

Manzini e Vezzoli (2002) destacam que um projeto de *design* deve contemplar os aspectos ambientais em todos os estágios do desenvolvimento de um produto. Deve procurar reduzir o impacto ambiental durante todas as fases do seu ciclo de vida, o que significa reduzir gastos com matérias-primas, energia e lixo, desde sua fabricação até seu descarte (MOURÃO, 2011, p. 32).

Vezzoli (2010) apresenta o papel do *design* no panorama sustentável que se alinha entre iniciativas e empreendimentos ecoeficientes e socialmente justos. Alinhem-se, a seguir, alguns pontos que os novos pactos construtivos devem conter (VEZZOLI, 2010, p. 207).

- Desenvolver produtos e serviços em conjunto para responder às demandas de necessidades;

- Encontrar, promover e facilitar parcerias e interações inovadoras, com o envolvimento de diferentes atores para gerar sistemas de satisfação;
- Operacionalizar/facilitar processos participativos entre os atores envolvidos na direção da sustentabilidade

No Brasil, cooperativas reúnem, em projetos sociais, pescadores, agricultores, quilombolas e indígenas em novos agenciamentos em que passam de simples extrativistas à protetores da fauna e da flora. A mudança de paradigma é grande, não se trata de um simples ativismo por causas ecológicas, mas sim da preservação do imenso potencial que o país tem e, às vezes, da exploração danosa e exploratória que se propaga por falta de uma consciência do poder do *design*, mesmo na produção artesanal.

As crises de energia acrescidas ao crescente problema do aquecimento global impactam a sociedade com alterações climáticas que trazem inundações, secas prolongadas, aumento do nível dos oceanos, tempestades severas e temperaturas elevadas. A economia de nações emergentes e das mais pobres são as mais afetadas. Os países ricos e industrializados têm se preocupado com a situação de sua população e buscam diversificar as fontes energéticas na direção das energias “limpas”. Já não apostam na energia atômica como principal fonte energética. A diversificação energética sobretudo eólica e solar tem ajudado na redução das emissões de gases e partículas na atmosfera. Já os países pobres e em desenvolvimento reclamam que não são os culpados pelos distúrbios climáticos e que não podem pagar a conta sozinhos.

Outra preocupação em pauta é a busca por máquinas mais eficientes, novos materiais e linhas de produção racionalizadas. A eficiência ligada à estabilidade política aumentam a confiança dos investidores internacionais. Estes buscam investir suas reservas em países que trabalham na sustentabilidade onde há preocupações com a redução do desperdício, da poluição e dos rejeitos industriais. O controle ambiental da produção faz a diferença nos grandes centros industriais que de grandes poluidores passaram a revitalizar seus rios e a respeitar o meio ambiente. Materiais que são utilizados na manufatura passam a ser reutilizados, reciclados e não são mais descartados no meio ambiente.

Embora as mudanças na busca de uma manufatura amigável ao ambiente tenha ocorrido nas áreas automobilística, aeronáutica e naval, na Arquitetura o sistema

construtivo e os materiais não sofreram grandes alterações. A competição e a pressão global fazem com que a área de produtos manufaturados invista na tecnologia e transforme sua produção na direção da sustentabilidade. Uma das razões para isso é a existência de leis e certificados mais rígidos na construção e manutenção de aviões, carros e navios. As certificações praticamente não existem na Arquitetura e no Design. Objetos, casas, edifícios e cidades têm protocolos de intensões com uma pontuação flexível, podendo ter alterações a cada país ou bloco econômico.

Apenas no final do séc. XX (década de 90) foram estabelecidas certificações ambientais para edifícios, com a criação dos sistemas BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) e LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Em menos de uma década, estas certificações criaram força no mercado imobiliário gerando o o *edifício verde* (BUORO, 2015, p.523).

A arquiteta e pesquisadora Anarrita Buoro (2015) em um levantamento das certificações utilizadas no Brasil: LEED, BREEAM e os nacionais PBE Edifica e Selo Casa Azul, constata que as companhias multinacionais são as pioneiras na exigência da certificação e aponta para o paradoxo de que a maioria dos sistemas têm ênfase nos sistemas prediais e na carga tecnológica da operação dos edifícios, com a dissociação do usuário (BUORO, 2015, p.524). A arquiteta aponta também para o fato de que o interesse somente pela pontuação na certificação, dissociada de uma abordagem ampla de desempenho ambiental gera graves falhas na avaliação do desempenho energético.

A eficiência dos sistemas prediais recai sobre requisitos de projeto, mais precisamente na busca por melhores sistemas construtivos que facilitem o controle das variáveis de conforto com o ajuste da iluminação, insolação e ventilação natural. O projeto arquitetônico, voltado ao desempenho, deve conter as tecnologias que permitam a simulação da obra em função da sua localização, insolação bem como a verificação dos sistemas construtivos adotados e da coerência dos materiais empregados. A montagem e desmontagem da obra arquitetônica eficiente deve ser gerida por sistemas integrados que facilitem a comunicação entre autores, engenheiros, construtores e fornecedores.

O ensino de projeto nas escolas se faz de forma isolada dos sistemas construtivos. Alguns autores propõem a aproximação da escola com a fábrica justamente para que os

alunos convivam com equipes ao pé das linhas de montagem, o que se convencionou chamar de chão de fábrica.

Pode-se imaginar qual será o aspecto das fábricas no futuro: serão como escolas. Deverão ser locais em que os homens aprendam como funcionam os aparelhos eletrônicos, de forma que esses aparelhos possam depois, em lugar dos homens, promover a transformação da natureza em cultura. E os homens do futuro, por sua vez, nas fábricas do futuro, aprenderão essa operação com aparelhos, em aparelhos e de aparelhos. Em função disso, a fábrica do futuro deverá assemelhar-se mais a laboratórios científicos, academias de arte, bibliotecas e discotecas do que às fábricas atuais (FLUSSER, 2007, p. 42).

Outra maneira de pensar o ensino de projeto é defini-lo como um sistema baseado em regras rigorosas como as do pensamento algorítmico que envolvem lógica e matemática. Derivado do nome de um matemático persa (Muhammad ibn Musa Al-Kwarizmi), um algoritmo é definido como um conjunto de instruções precisas para calcular a função.

Aprender conceitos de programação não necessariamente garante que um designer aprenda o pensamento algorítmico. O desafio não é diferente do aprendizado da culinária: pode-se aprender as noções básicas em se misturar ingredientes, do aquecimento, do cozimento e assim por diante, mas não há garantias que isso o torne um chef. Tal como acontece com a maioria das coisas, é preciso muito amor pelo ofício, uma mente metódica, algum talento e, mais importante, muita prática. A metáfora também se aplica ao próprio processo: da mesma forma que as receitas de cozinha variam em complexidade, elegância e gosto no resultado final. Algoritmos também variam em complexidade, elegância, características estéticas e performáticas no resultado das soluções de projeto (JABI, 2013, p. 22) (Tradução nossa).

A proposta aqui pretende combinar os processos e materiais utilizados em áreas da engenharia onde o projeto otimiza a forma em função de variáveis ambientais, econômicas e de performance. Embora exijam um alto investimento, estes processos são passíveis de adaptações e simplificações para se adaptar ao ensino da Arquitetura e do Design.

A ideia de que, dentro da academia, podemos estabelecer modelos melhores que a prática é totalmente equivocada. No máximo a academia pode temperar seus projetos com algum nível de realismo. O ensino baseado na prática dentro da academia também

não seria a solução para que a inovação emergja nas disciplinas escolares. As disciplinas da Arquitetura e do Design têm essa polaridade entre a inovação e demandas programáticas da sociedade. Por esse motivo, não estão situadas no campo da engenharia onde a solução de problemas está atrelada a receitas já testadas e verificadas.

Em relação à sustentabilidade, a Arquitetura e o Design estão se aproximando de novas áreas: biologia, química e física. Grande parte dos novos materiais hoje empregados nas engenharias vêm de pesquisas feitas na área de fibras, resinas e produtos químicos derivados de carbono e extraídos da biomassa: algodão, eucalipto, bagaço da cana-de-açúcar, babaçu e do coco. A busca por fontes renováveis com carbono mais novo é recente. No Brasil existe um grande potencial na produção de precursores extraídos de matérias primas vegetais renováveis.

A biomassa é uma fonte alternativa e renovável de carbono, que é a base dos combustíveis fósseis de materiais carbonosos. As chamadas fontes não renováveis de carbono, petróleo e carvão mineral, principalmente, possuem graves problemas nos diversos usos. Elas são esgotáveis, poluentes, caras e controladas por poucos países que detêm minas e poços e as tecnologias de transformação. Apesar das controvérsias, um dia, carvão e petróleo acabarão. A emissão de gases poluentes tem sido cada vez mais controlada por órgãos ambientais devido à pressão social crescente. Os preços do petróleo e do carvão não têm mostrado ultimamente comportamento instável, porém não há garantias de estabilidade. Tanto o processo de destilação do petróleo, quanto o de pirólise do carvão são de domínio público, no entanto, quando se trata de produção de intermediários para a indústria química, como por exemplo, os pixes, o segredo industrial é mantido num circuito muito restrito (ROCHA, 1997, p. 3).

Carbonos novos apresentam significativa redução de custos e riscos ambientais em relação ao carbono proveniente do petróleo. As pesquisas que tratam da pirólise da biomassa procuram extrair bioóleo e fibras de carbono da lignina¹² e da celulose. As fibras de carbono¹³ são a base dos compósitos filamentosos que, extraídos através da pirólise, são uma alternativa econômica estável e não sujeita aos segredos industriais ligados ao carbono fóssil. A exploração das fibras de carbono se iniciou em 1950 com a utilização do

¹² A lignina começou a ser pesquisada na década de 90 com as fibras vegetais do sisal, piaçava, juta, bambu, coco e bagaço de cana-de-açúcar.

¹³ Thomas Edson, na busca por melhorias na eficiência e durabilidade da lâmpada elétrica, produziu intencionalmente filamentos de carbono através da decomposição térmica (pirólise) do algodão em 1878.

Rayon,¹⁴ mas apresentava taxas de carbono pouco aceitáveis. O aumento de produtividade veio com pesquisas da Inglaterra e Japão com a poliacrilo-nitrila (PAN) e o piche de petróleo que apresentaram melhores taxas de carbono.

A curva de uso dos novos materiais é exponencial e a crescente demanda desses produtos está relacionada a sua leveza e alta resistência, o que leva à redução do consumo de combustíveis. A reciclagem desses produtos ainda é um processo caro, mas se apresenta como uma solução para a crescente demanda dos compósitos. A pressão do mercado pelo consumo de FC¹⁵ tem aumentado na busca de alternativas mais baratas como a extração da lignina nos rejeitos e resíduos do agronegócio brasileiro.

Colocados os novos campos de conhecimento das áreas pertinentes à Arquitetura e ao Design, faz sentido adaptar processos atrelados às pesquisas de novos materiais de outras áreas se afastando assim das receitas tradicionais. Deve-se apenas resguardar a liberdade criativa da investigação estética, formal e tectônica¹⁶ para que os alunos criem as próprias receitas dentro de um repertório de técnicas e soluções que possam colocar suas ideias em prática, e não que a prática venha a impor receitas já testadas e consagradas.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os setores aeroespacial e naval apresentam avanços tecnológicos provenientes de mudanças estruturais radiais com a utilização de estruturas mais leves e resistentes. Novas tecnologias em turbinas eólicas podem produzir mais energias com pás maiores e com menor impacto ao meio ambiente. O uso de compósitos de alta *performance* é

¹⁴ Nome da seda artificial feita de celulose.

¹⁵ Segundo Carbono Composites (CCeV) associação de empresas e instituições de pesquisa de materiais compostos de fibra de alta performance da Alemanha, Áustria e Suíça, em 2011 o consumo foi de 38 mil toneladas,

o crescimento anual é de 8% a 10% espera-se um crescimento de 15% até 2020.

¹⁶ Expressão derivada do grego *tekton* (carpinteiro) usada normalmente pela Geologia referentemente às placas continentais. Na Arquitetura, o termo “tectônica” se refere à expressão estética e funcional da construção potencializada por determinados sistemas estruturais e/ou materiais de alto desempenho estrutural.

baseado em compostos de dois ou mais materiais que, combinados, têm significativo ganho de desempenho.

A substituição do material tradicional metal é expressiva, a substituição pelos compósitos atende à demanda dos setores aeroespacial, naval, automotivo, de energia, petróleo e gás, além da telecomunicação. Nestas áreas, os materiais mais leves e mais confiáveis estão em desenvolvimento avançado. A pesquisa e desenvolvimento (P&D) são conduzidas por equipes altamente treinadas, equipamentos avançados de fabricação e incentivo do governo Estadual e Federal voltados para inovação.

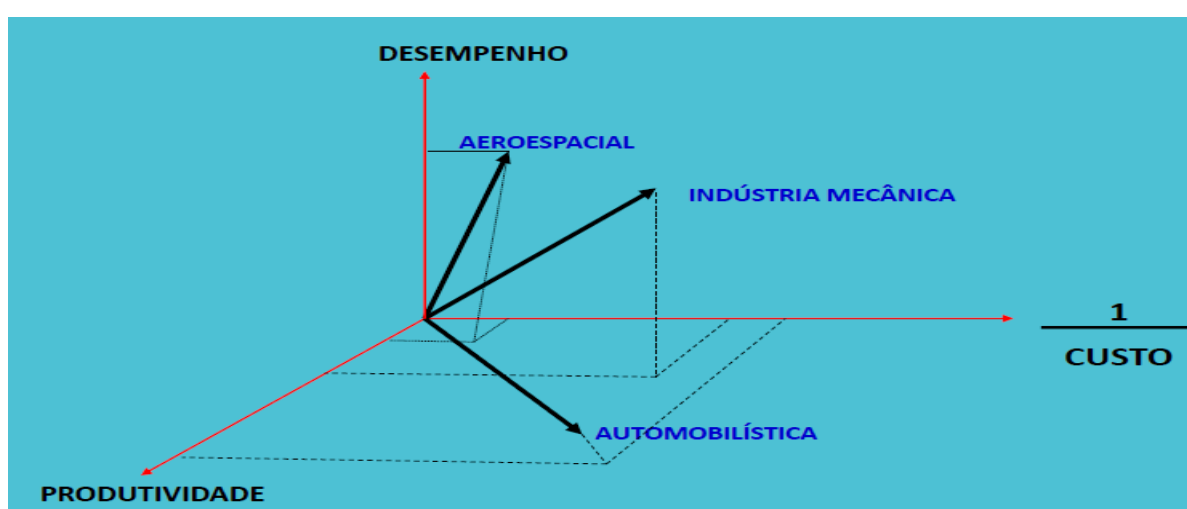


Figura 21 Comparação entre as indústrias
Fonte:Texiglass / Sample

O uso de aplicativos no desenvolvimento de projeto e o uso de MDR são expressivos. Devido à complexidade dos projetos, os aplicativos empregados incluem uma variada gama de programas especializados em áreas diversas como modelagem e simulações, escolha dos materiais adequados, verificação dos esforços com análise de elementos finitos, movimentação e fixação da geometrias, estudos de aerodinâmicas em túnel de vento digitais e analógicos, fabricação digital, confecção e moldes, checagem de defeitos com ultrassonografia e linha de montagem não linear.

Projeto e linha de montagem deste nível já estão em operação no Brasil no Laboratório de Estruturas Leves (LEL) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em São José dos Campos (SP), e representam o esforço brasileiro no desenvolvimento de estruturas economicamente viáveis, com menor peso e custo na direção de uma sociedade sustentável.

O laboratório é destinado a atender a demanda do setor aeroespacial e conta com empresas do porte da Embraer e de um complexo industrial de várias empresas que atendem à demanda de peças e serviços especializados para suprir o setor que fabrica aviões militares e comerciais.

Para ciclos de vida completamente sustentáveis, os materiais a serem utilizados nessas estruturas devem ter sua origem em fontes renováveis e devem ser seguramente reciclados ou descartados. Nos últimos anos vemos uma crescente demanda dos materiais compósitos.

O desempenho de um setor produtivo depende não somente da teoria e da tecnologia envolvida na produção, no projeto, na gestão, nos processos, na manipulação dos materiais e na linha de montagem. Os índices e indicadores de uma cadeia produtiva envolvem estudos sofisticados de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) seja de um objeto, carro, avião ou edifício.

A seleção de um grupo inicial de indicadores para descrever desempenho ambiental no ciclo de vida não pretende dispensar a condução de ACVs completas. Pelo contrário, os valores de todos os indicadores devem ser calculados com base nos resultados de avaliação de ciclo de vida realizadas em rigorosas conformidades com as normas que as regem. Os objetivos aqui são: (i) identificar os materiais e componentes pelos quais iniciar os estudos, segundo uma estratégia metodológica coordenada para a construção dos inventários necessários; (ii) facilitar a compreensão do significado dos indicadores por projetistas e sua utilização na prática cotidiana de especificações; e (iii) começar a gerar números de referências que posicionem nossas construções e orientem o estabelecimento de metas de melhoria (SILVA e SILVA, 2015, p. 139).

As pesquisadoras Vanessa e Maristela Silva ressaltam a importância da ampliação da base de dados de materiais para atender aos projetos, bem como o desenvolvimento de interfaces e catalogação de sistemas que facilitem o estudo objetivo de materiais para facilitar as estimativas projetuais. Um dos motivos para a baixa utilização de materiais de alto desempenho na construção em EAC é a falta de base de dados e informações sobre estes materiais. O projeto paramétrico tem condições de trabalhar estes dados em tomadas de decisão que levam os ACVs a patamares elevados de desempenho e produtividade.

DISCUSSÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO

O método tradicional de projeto da Arquitetura e *Design* são procedimentos de etapas lineares, compreendendo:

- Anteprojeto (esboços, referências e perspectivas);
- Desenvolvimento do projeto (orçamentos, memorial descritivo com partido ou escopo);
- Finalização com representação em 2D (desenho arquitetônico ou técnico, cortes, fachadas, detalhes e elevações);
- Modelos 3D (maquetes ou modelos de apresentação).

A Arquitetura do século XX se baseou na mescla de conceitos formais e historicistas iniciada na década de 60 com forte associação ao Estado. O Design, inversamente, ficou mais próximo do mercado consumidor e dos processos industriais.

Ainda hoje, a produção da obra arquitetônica segue uma linha de produção linear e fordista. Seus instrumentos de representação seguem um paralelismo com os instrumentos utilizados canteiro de obras: esquadro/fio de prumo, régua paralela/nível d'água, traço/limite das paredes e escalímetro/trena métrica. O Design se despreendeu desses instrumentos rudimentares de representação devido a necessidade de precisão e mão de obra especializada.

Como o sistema construtivo sofreu poucas mudanças, os sistemas e instrumentos de representação permaneceram os mesmos. Ficaram sem nenhuma alteração por séculos. Não sofreram nenhuma pressão social para alterações tectônicas: maior eficiência, precisão, novos materiais, menor desperdício. Talvez seja um dos poucos setores que, ainda hoje, absorvem a mão-de-obra com baixíssima ou nenhuma qualificação.

Sem exigências, a inércia dos métodos e sistemas construtivos arquitetônicos não acompanharam as duas revoluções industriais. Houve pouco avanço tecnológico o que favoreceu a permanência de um sistema tradicional de produção na Arquitetura. Na reconstrução da Europa no pós-guerra, o Estado passa a ser um parceiro que exige obras mais rápidas, plantas livres o que vem de encontro às práticas Modernistas. A insatisfação e o desejo por mudanças levou as vanguardas arquitetônicas à elaboração de utopias

como as dos arquitetos futuristas dos anos 60 (Archigram, Superestudio e Archizoon) que precederam a terceira revolução industrial com suas utopias gráficas, midiáticas e performáticas.

Tardiamente, no final do século XX, surgiram as teorias críticas da Arquitetura que como relata a pesquisadora A. Krista Sykes. Formada em Harvard, em suas pesquisas e livros ela faz uma costura teórica ente os campos da Arquitetura e do Design.

A “teoria”, como um código ou estrutura de enquadramento do pensamento arquitetônico, existe há séculos, e muitos localizam sua origem em Vitruvius, no século I a.C. Mas a “teoria” a que se referem Nesbitt e Hays está relacionada com um movimento específico iniciado nos anos 1960, que procura reconstituir a disciplina arquitetônica por meio de conceitos mediadores — derivados de como a filosofia, a linguística, a psicologia e antropologia — que ligam a arquitetura a outros campos sociais e, ao mesmo tempo, reivindicam (ou procuram reivindicar) um território próprio e exclusivo para a arquitetura. A teoria arquitetônica como tal abrange muitas tendências que se sobrepõem e, não raro, se contradizem (por exemplo, a semiótica, o estruturalismo e a fenomenologia), as quais, por sua vez, deram origem mais recentemente às correntes historicistas e desconstrutivistas (SYKES, 2013, p. 13).

Os dois livros a que Sykes se refere são: "Uma Nova Agenda para a Arquitetura: Antologia Teórica (1965-1995)" de Kate Nesbitt e "Architecture Theory Since 1968" de K. Michael Hays. O primeiro trata do período pluralista pós-moderno, sem um ponto de vista abrangente e predominante e, o outro da procura uma junção teórica entre a crítica marxista e a pós-estruturalista, ambas descritas como teorias críticas derivadas do pensamento de intelectuais da Escola de Frankfurt e dos filósofos franceses (opcit , p.14).

Em plena terceira revolução digital, a pressão sobre a Arquitetura e o Design aumenta. Uma discussão vai de encontro a estruturas sociais tidas como repressivas e controladoras e cujo debate não faz sentido num momento em que se configuram teorias menos utópicas e libertárias, nascidas no início do séc. XXI, que se abrem em duas frentes distintas:

- Uma mais pragmática e prática que explora as potencialidades do projeto com a FD e a forma diante da globalização, da sociedade midiática e virtual;
- Outra que apresenta a Arquitetura como a única que pode acionar um freio para deter, corrigir e minimizar os danos ecológicos da sociedade moderna.

A escolha das obras arquitetônicas e produtos de design que fazem parte do estado da arte se situa entre os dois pontos levantados na discussão do referencial teórico. São obras que diferem da Arquitetura Convencional e também da Arquitetura Espetacular iniciada nos anos 90, período onde os projetos, metamórficos ou transmórficos, eram associados à visibilidade do Design de marca (grife).

Por um outro lado, as obras e objetos escolhidos, que não colocam em crise os sistemas tradicionais de representação, poderiam ser feitas com a metodologia tradicional mesclada com os novos materiais. A habilidade em desenhar e modelar de arquitetos e designers não foi descartada pelo uso dos novos meios de representação que empregam ferramentas ainda mais próximas do traço e distantes da linha de montagem ou canteiro de obra. Isso favorecia ainda utilização do desenho em todas as etapas do projeto.

A teoria utilizada nesta pesquisa, apesar de trazer uma inovação em relação ao material, preconiza um projeto que destoa da Arquitetura Espetacular valorizada pelos grandes eventos internacionais e também se afasta do “efeito Bilbao¹⁷”. A terceira revolução industrial (digital) também se associou ao Estado, agora globalizado e internacional. A Arquitetura Espetacular trilha o mesmo caminho dos Modernistas que logo se transformaram em Brutalistas¹⁸. O mesmo exagero no tempero arquitetônico produz obras apetitosas a curto prazo, mas que podem apresentar efeitos danosos no longo prazo.

O museu do Amanhã, projetado pelo polêmico arquiteto-estrela Santiago Calatrava, é inaugurado em 2015 no Pier Mauá no Rio de Janeiro. Fruto de uma parceria entre o Banco Santander, a Fundação Roberto Marinho e a Prefeitura do Rio de Janeiro, o museu é a mais nova obra construída sob o “efeito Bilbao” ou “efeito Orloff”, segundo a jornalista Letícia Giannella. A crítica de Letícia ressuscita o bordão da propaganda “Eu

¹⁷ O termo Efeito Bilbao [Bilbao Effect] se refere ao museu Guggenheim de Bilbao na Espanha, obra do polêmico arquiteto Frank Gehry. O professor arquiteto Witold Rybczynski da Universidade da Pensilvânia, em seu texto Bilbao Effect discute a relação promíscua das prefeituras com os arquitetos-celebridades (Gehry, Steven Holl, Daniel Libeskind e Calatrava) na criação de edifícios de marca.

¹⁸ Arquitetura brutalista foi um movimento da década de 50 e 60 constituído por arquitetos que pregavam uma radicalização de determinados preceitos modernos: verdade tectônica, concreto aparente, etc. O movimento influenciou vários arquitetos modernos entre eles Vila Novas Artigas e Paulo Mendes da Rocha.

sou você, amanhã” do publicitário Jacques Lewkowicz feita para a vodka Orloff. Giannella alerta sobre a dor-de-cabeça que projeto de Calatrava pode acarretar no futuro

Como se não bastasse o altíssimo custo do projeto (orçado em 215 milhões de reais em 2011) e a obscuridade que ronda o seu orçamento atual – já que ele é mais um elemento que foi para o buraco negro da Concessionária Porto Novo – o que pouca gente sabe é que boa parte das obras de Santiago Calatrava, situadas principalmente na Europa, cedo ou tarde acabam sendo objeto de processos judiciais devido a fatores tais como a multiplicação dos custos ao longo das obras em relação aos custos previstos inicialmente, aos exorbitantes custos de manutenção das estruturas e até mesmo por erros estruturais que, em alguns casos, chegaram a provocar danos físicos em cidadãos (GIANNELLA, 2013).

Com as crises globais, provocadas pelo preço da energia, advindas dos combustíveis extraídos do petróleo, o modelo energético necessitou de mudanças em busca de novas fontes energéticas limpas e renováveis. Os megaprojetos declinaram com a redução dos orçamentos, reduzindo as extravagâncias dos arquitetos-estrelas. As arquiteturas apoteóticas entram em crise. Apenas encontram solo fértil nos paraísos fiscais e nos países intitulados de “BRICS¹⁹” (Brasil, Rússia, China, Índia e África Do Sul) que utilizam sua arquitetura espetacular como desculpas para acobertar o sumiço de enorme quantias de dinheiro.

Países em desenvolvimento que se encantam com a cidade de Dubai (Emirados Unidos), apostam em sediar eventos esportivos e olímpicos para dar visibilidade a seu desenvolvimento, com obras que selam um vínculo com a Arquitetura Globalizada Espetacular e a tecnologia da contemporaneidade. Ao mesmo tempo, procuram esconder seus escândalos de corrupção e desigualdades sociais.

Quem realmente paga a conta é a população que arca com os custos posteriores das “reformas” que são consequência da pressa com que são construídos, ou com as verbas adicionais para finalizar projetos inacabados por graves problemas estruturais. As cidades brasileiras que sediaram a Copa do Mundo em 2015 estão mergulhadas em escândalos e convivem com obras inacabadas ou condenadas à demolição.

¹⁹ O Termo acrônimo BRIC se refere ao bloco econômico formado pelos países em desenvolvimento Brasil, Rússia, Índia e China, posteriormente com a entrada da África do Sul foi acrescido de um S se referindo ao nome em inglês South Africa, BRICS.

Por outro lado, as graves crises globais geraram uma busca frenética por novos modelos alternativos e mais eficientes de construção que não apenas reduzam o consumo de energia, mas que passem até a gerar energia para o sistema. A Arquitetura e o Design sob pressão da eficiência, por sua vez, exigem mudanças nas linhas de montagem para que os produtos tenham significativa diminuição do peso, do desperdício de materiais e do tempo de fabricação.

As exigências também pedem o aumento de qualidade e alterações sustentáveis no ciclo de vida dos produtos. Reuso, reciclagem e reaproveitamento devem ser os diferenciais de objetos, carros, aviões, trens, casas. Em breve, estaremos reciclando edifícios e renovando nossas cidades contemporâneas totalmente gentrificadas²⁰.

A primeira grande mudança foi na quebra da linha de montagem linear para uma linha compostas por células ou conjuntos onde cada parte do produto era montada com responsabilidade, já pensando na qualidade total do produto. O novo “Toyotismo²¹” na arquitetura veio com a implantação do BIM²² como pré-requisito de grandes projetos e obras públicas em vários países.

Por esses motivos, o desenvolvimento de tecnologias que permitam uma correta integração entre MDR, fabricação digital e empregos de materiais de alta performance deve ter certa cautela na sua implantação em escolas de Arquitetura e Design. Nem sempre um projeto que promete ser eficiente e com pegada ecológica traz um resultado no rumo da sustentabilidade e eficiência energética. O simples atendimento dos novos

²⁰ Processo de gentrificação dos centros é o mesmo que reurbanização do centro que se torna decadente em função do crescimento expansivos das cidades. O termo vem do inglês *gentrification* que deriva do francês *gentrifier* que significa nobre. Os processos de revitalização foram frequentes nas cidades portuárias como Bilbao na Espanha, Nova York nos EUA, Seul na Coreia do Sul e Rio de Janeiro no Brasil que receberam grandes investimentos nas áreas centrais com construção de museus, praças e revitalização de áreas históricas.

²¹ O Toyotismo foi o modelo japonês de produção no pós-guerra dos anos 50, criado pelo japonês Taiichi Ohno na fábrica automoveis Toyota. Com pouco investimento Ohno montou uma linha de produção enxuta compostas por células produtivas que dividiam a responsabilidade e a informação para aumentar o controle de qualidade e diminuição dos estoques. O sistema não era baseado na linha produção Fordista linear e objetivava o enfrentamento dos mercados americano e europeu. O sistema não era baseado na linha produção Fordista linear baseada em grandes estoques e investimentos.

²² Acrônimo que significa Modelagem da Informação da Construção derivado do termo em inglês *Building Information Modelling*. O termo está relacionado a modelagem 3D paramétrica associada a sistemas integrados que armazenam todas as informações relacionadas ao ciclo de vida da edificação. O BIM será melhor detalhado no Cap.1 desta pesquisa.

certificados e protocolos é igualmente impreciso e opaco aos perversos mecanismos globais de financiamento. É preciso verificar se o projeto de Arquitetura ou Design tem algum diferencial em inovação ou inserção cultural-social para que o mesmo seja coerente e eficiente no ambiente no qual se está inserido.

O controle mais preciso sobre estes processos e custos poderia, em tese, levar a uma redução de custos, a uma Arquitetura e Design ecologicamente corretos e uma aplicabilidade no ensino das escolas dos países emergentes, carentes de recursos e dependentes da tecnologia empregada.

Vendo que a Arquitetura e o Design dependem de modelos a serem seguidos, a escolha do repertório e da discussão acabou por selecionar projetos que fossem compatíveis com a cultura e a técnica incipiente dos países em desenvolvimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais, técnicas e processos da engenharia naval e aeroespacial foram adaptados para a pesquisa, que desenvolveu MDR associados ao ensino de projeto (BONSIEPE, 1978) com o uso de P&D. Desta forma, os modelos adquirem movimento e simulação. Combinados com o emprego de materiais de última geração (DE GARMO, 1999) e a tecnologia de FD, podem trazer um valor agregado ao projeto.

A metodologia em ambientes em rede, permite desenvolver modelos virtuais com adição de novos materiais simulando o objeto real. Ambientes remotos e colaborativos se relacionam em diferentes níveis de conectividade, assim, a simulação permite vivenciar cenas digitais como se fossem reais.

A proposta utiliza aplicativos de uso livre que simulam forças físicas aplicada à geometria dos modelos (POTTMANN, 2007). Os modelos foram construídos em escala e ensaiados no ambiente digital e depois no ambiente próximo às condições programáticas do projeto. Os resultados foram analisados e servirão para adequação de novas propostas de projeto dos modelos.

Atualmente, os novos materiais empregados nas áreas de engenharia naval e aero espacial se denominam Compósitos²³ ou Plástico Reforçado com Fibras de Vidro (PRFV). O emprego dos compósitos com a metodologia e sistemas de representação voltados ao projeto está formatado e compreendido pelas fases processuais:

- Representação manual da ideia através do desenho esboço;
- Digitalização;
- Conversão para o desenho paramétrico;
- Emulação física/simulação
- Análise Numérica;
- Manipulação Digital;
- Simulação;
- Fabricação Digital,
- Moldagem;
- Escolha dos materiais,
- Laminação com infusão a vácuo;
- Moldes e laminação;
- Desmoldagem e seriação.

ESTRURURA DA TESE

No **Capítulo 1** a pesquisa traz a ligação da parametrização com a sustentabilidade e a representação. Apresenta brevemente a evolução da discussão da questão ambiental nos fóruns mundiais vinculadas à Organização das Nações Unidas (ONU). Como o debate das alterações climáticas e suas forças dinâmicas impõem um novo pensar e aperfeiçoar o projeto rumo a forma dinâmica em tempo real.

No **Capítulo 2** é apresentada a evolução dos aplicativos voltados para a área sob estudo, desde os desenhos 2D em **CAD**, **modelagem 3D CAD/CAM/CAE** e até o **BIM**.

²³ Compósitos derivam do termo em inglês *composite* são materiais que empregam mais de um componentes combinando características estruturais, físicas e químicas visando a melhoria da performance estrutural, leveza ou resistência a torção, compressão, tensão e corrosão. Uma vez combinados, formam um composto com propriedades que não poderiam ser conquistadas com os componentes originários.

Explicar-se-á a estratégia de programação em função da escolha e entendimento das principais entidades de modelagem (**Sólidos, Spline, Mesh,**) nos aplicativos 3D paramétricos. A produção com fabricação digital é detalhada, fechando o ciclo de processos digitais de simulação e produção.

No **Capítulo 3** são detalhados os primeiros projetos que utilizaram o MDR de forma intuitiva, fugindo da representação convencional. A realidade de arquitetos que trabalharam além da contribuição inovadora da representação em projetos, e já se preocupavam com a eficiência e a efetividade do projeto como um todo é, enfim, retratada.

No **Capítulo 4** são destacados os primeiros **Modelos Dinâmicos de Representação (MDR)** e seus autores. Os emuladores (*engines*) físicos serão mostrados em simulações físicas com AAD. Algumas leis físicas serão demonstradas através da simulação com MDR com *engines* físicos. A visão computacional também será apresentada para o entendimento dos edifícios inteligentes que podem aperfeiçoar sua forma em função de sensores e dispositivos presentes na arquitetura.

No **Capítulo 5** relembrar-se-á a **história dos compósitos no Brasil**, detalhando-se exemplos dos compósitos de alta *performance* da indústria aeroespacial e naval. A tecnologia foi simplificada e adaptada para ser empregada na Arquitetura e *Design*. Detalha o capítulo, ainda, possíveis adaptações da tecnologia dos compósitos por **laminação com infusão a vácuo** para a Arquitetura e o *Design*.

O **Capítulo 6** apresenta projetos com as referências e os respectivos estudos de semelhantes técnicas, bem como com suas etapas de produção (MDR, FD, moldes e laminação a vácuo).

Nas **Considerações Finais** são apresentados aspectos positivos e negativos da metodologia de baixo custo e as pretensões pedagógicas de ensino dos MDR com FD desenvolvidas em disciplinas na FAUUSP.

CAPÍTULO - 1 A REPRESENTAÇÃO NA ARQUITETURA E NO DESIGN

Após décadas de discussão em fóruns mundiais, os governos, ambientalistas e pesquisadores iniciam a construção de indicadores de desenvolvimento sustentável para reduzir o consumo desenfreado e iniciar a gestão ambiental na tentativa de frear as alterações climáticas que já ultrapassaram o “ponto de volta”. Indicadores de Gestão Ambiental passaram a nortear a produção que se preocupa com o meio ambiente e não apenas remediar os efeitos nocivos da eficiência energética e da poluição.

O MDR ajuda os projetistas a interferir nas fases do projeto para aumentar o desempenho do conforto térmico, da qualidade, da segurança, da iluminação natural, da ventilação, da tectônica, da otimização e reciclagem dos materiais voltada para a sustentabilidade. Ao interferir no ciclo de vida da construção, com aumento de eficiência e redução de custos, os projetos conseguem adquirir sustentabilidade e responder às pressões e exigências ambientais que devem ser cada vez mais exigentes em relação ao consumo e eficiência energética.

1.1 Parametrização e Sustentabilidade

A Modelagem Paramétrica pode se vincular a dados e a indicadores, além de ensaios, simulações e parametrizações. O projeto com simulação ajuda arquitetos e *designers* a antecipar problemas na resolução de situações complexas que vão muito além da sua experiência e do aparato sensorial cognitivo. As alterações climáticas lidam com forças dinâmicas que obrigam a repensar e aperfeiçoar a produção quanto à estabilidade dos edifícios, além da sustentabilidade, mobilidade urbana e adequação das cidades às adversidades das forças naturais

A primeira conferência internacional da ONU, a Habitat I, para o desafio da urbanização mundial, foi realizada em 1976, em Vancouver, no Canadá. A Habitat II foi realizada em Istambul, Turquia, 1996. Aprovado por 171 países, o documento político — apelidado de Agenda Habitat — que saiu desta "cidade-ápice", continha mais de 100

compromissos e 600 recomendações. De 1997 a 2002, a Habitat criou a Agenda Habitat e, depois, a Declaração do Milênio das Nações Unidas, em 2000, visando identificar e priorizar as medidas emergentes para o desenvolvimento urbano sustentável e os devidos ajustes necessários. Foram criadas diversas declarações:

- A Declaração de Vancouver sobre Assentamentos Humanos (Habitat I)
- A Declaração de Istambul sobre Assentamentos Humanos (Habitat II)
- Agenda Habitat
- A Declaração sobre as Cidades e Outros Povoamentos Humanos no Novo Milênio

As discussões em torno do aquecimento global e da sustentabilidade iniciaram-se tardiamente através da Organização das Nações Unidas (ONU), com encontros internacionais reunindo líderes de vários países. É o caso da ECO92 ou Rio-92, criada em 1992, no Rio de Janeiro. Nesta reunião surgiram as Ongs (Organizações Não Governamentais) e a Convenção-Quatro das Nações Unidas²⁴ dos países signatários das Conferências das Partes ou COPs. As reuniões passaram a ser anuais; a primeira foi realizada em Berlin, Alemanha (1995), depois foram: Genebra, Suíça (1996); Quioto, Japão (1997/1998); Bonn, Alemanha (1999); Haia, Holanda (2000); Bonn/Marrakech Alemanha/Marrocos (2001); Nova Déli, Índia (2002); Milão, Itália (2003); Buenos Aires, Argentina (2004); Montreal, Canadá (2005); Nairóbi, Quênia (2006); Bali, Indonésia (2007); Poznan, Polônia (2008); Copenhague, Dinamarca (2009); Cancún, México (2010); Durban, África do Sul (2011); Doha, Qatar (2012); Varsóvia, Polônia (2013); Lima, Peru (2013) e, em Paris, França, em 2015.

Na reunião Rio+5 de 1997, em Nova York, fora agendada a Sessão Especial da Assembleia Geral das Nações Unidas (UNGASS). Foram avaliados os cinco anos da Cúpula da Terra, constatando a piora e os retrocessos. Na Rio-92, os países ricos se comprometeram a aumentar para 0,7% a ajuda financeira aos países em desenvolvimento. A Rio+5 resolveu criar um ambiente político mais favorável para a aprovação do Protocolo de Kyoto. O protocolo foi adotado na 3ª Conferência das Partes

²⁴ O original da sigla em inglês United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).

da Convenção do Clima, em 1997, no Japão, na cidade de Kyoto. Entrou em vigor, em fevereiro de 2005, com metas de emissões de gases de efeito estufa para 37 países, com exceção dos Estados Unidos que não assinaram o protocolo. Ficou estabelecido que as emissões de gases fossem diminuídas em 5%, em média, entre 2008 e 2012, em comparação aos níveis de 1990.

Outra reunião marcada foi a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+10) em Joanesburgo, no ano de 2002. Pouco se produziu além do Plano de Implementação de Joanesburgo, visando fortalecer o papel da Comissão sobre o Desenvolvimento Sustentável da ONU (CDS), com novas metas para reduzir a perda de biodiversidade até 2010, com a redução da metade da população sem acesso à água potável até 2015.

Na Rio+20, realizada no Rio de Janeiro em 2012, teve-se um dos maiores eventos da história da ONU, contando com 193 delegações. Foi aprovado o documento intitulado “O Futuro que Queremos”. O documento criou um processo para se discutir a agenda dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A comunidade científica no Brasil criticou o documento, apontando que a mudança climática é uma crise transversal e mostrou-se preocupada com a dimensão e a gravidade dos impactos negativos das mudanças climáticas existentes nos países em desenvolvimento.

As discussões contaram com a inédita participação a Cúpula dos Povos e 14 mil ativistas e redes internacionais abarcaram o tema do desenvolvimento sustentável, das escolhas e padrões de consumo, dos recursos naturais e mudanças na direção de uma economia muito além do que a verde, preocupada com a inovação e com a inclusão. O resultado prático das intenções discutidas na Rio + 20 foram:

- O processo intergovernamental para a criação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS);
- Foro Político de Alto Nível sobre Desenvolvimento Sustentável e o incentivo ao fortalecimento do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

Várias outras reuniões globais foram agendadas com o objetivo de frear o aumento do buraco de ozônio, emissão de CO₂ na atmosfera, redução da poluição, do efeito estufa e do estabelecimento das metas de redução entre os países pobres e ricos. A 21ª Conferência das Partes da Convenção Quatro sobre Mudança do Clima (COP21),

realizada em 2015 na cidade de Paris, definiu uma nova agenda com protocolos de intenções sobre a emissão de gases. Marcada por enormes manifestações de rua sob um aparato policial antiterrorismo gigantesco, o acordo deve entrar em vigor em 2020, substituindo o Protocolo de Quioto. Finalmente, os países concordaram em financiar projetos voltados para a redução de emissões de carbono nos países em desenvolvimento e a manter uma taxa de elevação de temperatura global em torno dos 2º C.

Na contemporaneidade, as forças oriundas da natureza se voltam contra a sociedade na forma de fortes alterações climáticas em face do aquecimento global. Uma mudança de paradigma se faz visível em todas as áreas do conhecimento. Há permanente busca para atribuir, por sobre o que é habitado ou produzido, o menor impacto possível na direção do meio ambiente sustentável. Os MDR simulam, em poderosas máquinas, as graves crises climáticas ou ambientais, como terremotos, secas, tsunamis, choque de meteoritos, cometas etc.

O esforço dos arquitetos, no século passado, era na direção de se unir aos engenheiros e artistas na busca de uma solução formal esteticamente coerente e funcional. Atualmente, as mudanças e as crises impõem ao projetista um papel mais propositivo no sentido de deter e/ou de controlar o impacto ambiental concernente ao seu trabalho. Hoje, é forte a aproximação dos arquitetos com a Física, a Matemática, Biologia, a Química e outras áreas novas, como a Nanotecnologia e Astrofísica. O avanço da ciência recaiu por sobre novos campos do conhecimento, unindo áreas próximas. O arquiteto contemporâneo deve se entrelaçar com essas novas áreas na busca de uma nova Arquitetura, visando a maior eficiência estrutural com o menor impacto ambiental.

As arquiteturas espetaculares do mundo globalizado caracterizaram-se por grandes gastos de materiais e energia. Os panos de vidro, as estruturas, as aberturas e sua forma começam a achar uma nova tectônica que melhore seu desempenho e reverta a situação limítrofe das cidades em relação ao consumo de água, energia e da poluição.

Outra realidade que se apresenta à arquitetura se refere ao ambiente e ao papel que ela pode desempenhar para deter, e talvez até corrigir, os danos ecológicos infligidos pela sociedade moderna. Na década passada, devido às alterações climáticas do planeta, ao escasseamento dos recursos naturais e à poluição em geral, o imperativo de criar uma arquitetura ecológica e sustentável mostrou-se muito evidente. Hoje está se tornando mais habitual a incorporação, pelos arquitetos, de estratégias ambientais a seus projetos, inclusive por meio de uso de energia local, renovável e eficiente e/ou de

materiais reciclados, mecanismos de captação e armazenamento de energia (SYKES, 2013, p. 19).

Uma nova agenda se volta para estruturas leves, desmontáveis e de alto desempenho. Uma tectônica com menor impacto ao meio ambiente com o aumento da *performance* estrutural e redução energética. O uso de novos materiais se impõem na direção da reciclagem do reaproveitamento e na sua otimização para que possam produzir energia, reduzir a emissão de carbono na sua produção e consequentemente ajudar quanto ao futuro do planeta Terra.

A mudança de paradigma para lidar com uma nova tectônica sob a agenda da sustentabilidade passa pela mudança na representação do projeto. A representação tradicional ligada à estética formal não abarca a complexidade que se impõe aos arquitetos, engenheiros e toda a cadeia da produção da Arquitetura.

O paradigma passa a ser físico, químico e biológico. A Arquitetura apresenta uma morfogênese só compreendida pelo olhar algorítmico. Para enxergar uma solução dada à complexidade do problema é preciso ter uma aproximação da matemática avançada com o uso de algoritmos. O uso de aplicativos paramétricos, com o emprego de MDR, passíveis de simulação e parametrização, lidam com os fenômenos físicos, biológicos e químicos. O desafio deste trabalho é concentrar-se por sobre os aspectos físicos que envolvem o desempenho da obra arquitetônica e os materiais que bem respondam ao problema.

Sabe-se que é da compreensão dos fenômenos da física, aplicada à arquitetura em conjunto com todos os demais fatores determinantes do projeto, que vão surgir as melhores respostas projetuais. Por outro lado, com a complexidade crescente dos projetos arquitetônicos e o consequente interesse por soluções como fachadas duplas, novos materiais e formas inusitadas, é inegável a importância dos procedimentos avançados de simulação computacional para a formulação de respostas sobre o desempenho ambiental do edifício (GOLÇALVES, 2015, p. 19).

A questão de mudança de paradigma da representação se fez necessária em outras áreas do conhecimento, e a Arquitetura deve absorver a metodologia para que seu produto possa vir a contemplar o desejo de encarar a complexidade de cada atividade. O aprofundamento das crises internacionais gera escassez de recursos e afeta a produção de bens.

A pressão dos ambientalistas e a pressão oriunda da escassez de recursos provocada pelas crises globais impulsionam o desenvolvimento de tecnologias adequadas para enfrentar as adversidades atuais. Porém, o arquiteto deve priorizar o aprendizado constante e aproximar-se de novas áreas. Tradicionalmente, o diálogo com a engenharia e a arte davam conta da problemática da obra arquitetônica. A abordagem via algoritmo e desenho paramétrico é uma proposta desenvolvida aqui em conjunto com a Representação Dinâmica.

1.2 Representação e o Desenho

Na questão tradicional da Representação da Arquitetura, o desenho, o esboço ou os esquemas que antecedem o traço normatizado (planta, elevação e corte), sempre estiveram ligados a uma questão pessoal e vinculada a um estilo próprio, ordenador e pessoal.

Todo arquiteto tem um momento criativo em que se liga à Musa e gera um croqui que constrói a ordem, a partir do Caos. O croqui é uma marca que sugere a possibilidade de uma ideia e de um ideal. Levar esse ato adiante significa inscrever uma marca em nossa vida da qual podemos chamar de Arquitetura, uma marca que permanecerá depois de esgotado o poder da imaginação viva do indivíduo (MOCKBEE, 2013, p. 85).

O desenho em todas as áreas (Arquitetura, *Design*, Biologia, Medicina etc.) tem suas representações sistematizadas e sempre foram uma grande questão de estudo e aprimoramento pelo fato dos desenhos constituírem uma representação gráfica que antecede a ideia que pode ser sistematizada, documentada e preservada. Na Engenharia e Robótica os desenhos dos mecanismos têm outra configuração. O engenheiro londrino e historiador da civilização islâmica traduziu os manuscritos de Ibn al-Razzas al-Jazarí de 1206. É considerado o pai da robótica pelo detalhamento dos dispositivos hidráulicos e mecânicos que descreveu em detalhes, com ilustrações precisas e minuciosas dos inventos. O manuscrito teve grande impacto na evolução científica do oriente e, até hoje, na moderna Engenharia Mecânica.

No *Design*, ao contrário da Arquitetura, o desenhista está mais ligado à tecnologia e o esboço é feito por dispositivos e aplicativos que ajudam o traço a suavizar-

se. É comum ampliar o desenho na escala 1:1 e desenhar as linhas de um carro com fita adesiva utilizando uma lousa branca vertical em que os frisos e vincos formam as linhas



Figura 22 Barco automatizado
Fonte: AL-JAZARÍ (1974, p. 107)

automotivas. Assim, o desenho à mão livre e/ou através de dispositivos eletrônicos não deixam de ser pessoais e individuais.

O traço não é ordenador e sim compositor e desta está muito longe de ser uma marca pessoal. Procura-se uma representação aberta a outras possibilidades que convida o espectador a imaginar e a participar do desenho. O contorno é interrompido e a perspectiva alterada para que se tenha uma ideia geral do objeto, seja ele um vaso, carro, avião ou um navio. Utiliza-se as canetas hidrográficas (marcadores) para imprimir a noção de volume em 2D utilizando os brilhos e reflexos (Figura 23).

Volumes, dobras e vincos são importantes na representação do *Design*. O uso de sobreposições, áreas em branco (com o traço elaborado) e à mão livre são sistematizados e seguem regras rígidas. O lápis de cor azul é muito utilizado nos desenhos automotivos, seja pela facilidade de a cor dar suaves nuances com o branco do papel e também por se adequar aos antigos sistemas de reprodução e ampliação da heliografia. Embora se use diversos aparatos tecnológicos para desenvolvimento da representação nos momentos posteriores ao esboço, o traço é parametrizado em curvas vetoriais por aplicativos, e assume uma geometria simétrica e equilibrada.



Figura 23 Desenho Automotivo
Fonte: Icon Design (www.icondesign.com.br)

Na visão de Bahamón, os projetistas utilizam para expressar suas idéias uma ferramenta intimamente ligada à história desta arte voltada para a materialização de intenções a clientes, construtores e público em geral.

O croqui (tradução do inglês = sketch) consiste nos primeiros esboços que um criador plasma no papel quando pretende resolver e expressar uma situação específica do projeto. Já que se trata de desenhos a mão livre, de traçado rápido e que respondem a um primeiro impulso, constitui talvez o documento gráfico mais pessoal e que de melhor maneira expressa a personalidade do autor (BAHAMÓN, 2005 p.8).

Os esboços, esquemas e desenhos rabiscados rapidamente no papel podem materializar uma ideia fora da imaginação do seu criador. Ao longo de séculos os desenhos estiveram ligados a modelos que ajudavam na produção industrial e das obras de engenharia, arquitetura e design.

Para Arturo Tedeschi, arquiteto e designer digital, o *sketch* tradicional passa por um processo aditivo de uma associação de traços sobrepostos no papel. A coerência interna não é garantida pelo meio, mas embasada pelo projetista, de modo que o rabisco não é um meio inteligente e tem limitações, mas um código baseado em convenções e regras.

A lógica aditiva de desenhos tradicionais impõe dois limites: em primeiro lugar, o ato de desenho difere de mecanismos cognitivos subjacentes ao processo criativo, como funciona através do estabelecimento de interações em vez de adicionar informações. Em segundo lugar, os exclui do processo atinente aos

aspectos relevantes do estiramento físico que no mundo real conduz à geração de formas. Por exemplo, os desenhos tradicionais não conseguem, quanto ao expressar de forças (como a gravidade), impor todo o desejado alcance, com limitações que afetam e restringem deformações e deslocamentos (TEDESCHI, 2014, p. 16) (Tradução nossa).

Na engenharia, os desenhos e esquemas sempre tiveram preocupação em relação às forças e deformações, em especial com os tipos de engastes e fixações. Os materiais e apoios induzem o engenheiro a pensar em modelos dinâmicos, ou seja, modelos que sofrem alterações em função do tempo.

O uso de modelos dinâmicos na arquitetura surge em raros momentos, modelos estáticos são de fácil representação e foram largamente utilizados devido sua aproximação com a geometria. Na Arquitetura, uma vez adotado o sistema estrutural, a representação estava a serviço da aparência formal e do entendimento comunicativo do desenho. Plantas, cortes, elevações e fachadas são sistemas de representação que atravessaram séculos organizando o espaço habitado das construções e sua estética.

Vários estilos de desenho influenciaram a Arquitetura; pinturas e desenhos, alcunhados com o termo *veduta*²⁵, eram feitos como representações fiéis de cidades, monumentos ou lugares. A gravura, técnica de impressão no papel, foi popularizada pelo engenheiro escultor e ilustrador Piranesi (1720-1778) em Veneza, na Itália. Sua grande habilidade de desenhar em pequenas placas de cobre transformou a *veduta* em souvenir para turistas.

²⁵ Segundo a curadora Patrícia Terra (Mestres da Gravura, 2011, p.24) o termo tem origem nas peregrinações a Roma no século XVIII, no tempo de redescoberta da Antiguidade: Herculano, em 1719, e Pompeia em 1748.

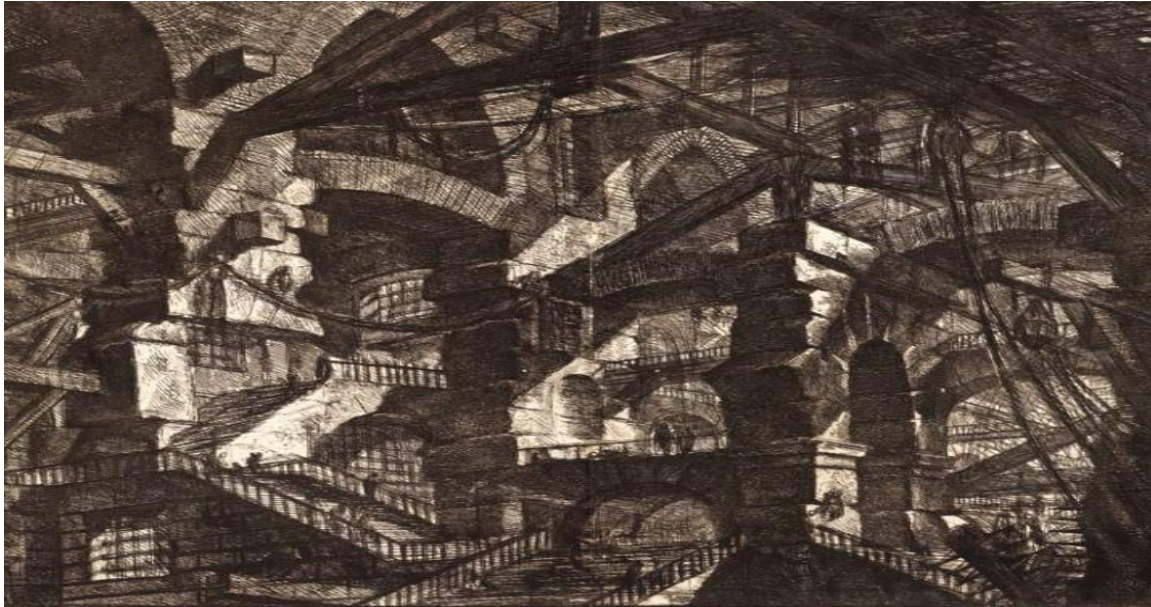


Figura 24 Le carcere d'invenzione de Piranesi
Fonte: Água Forte (MESTRES DA GRAVURA, 2011, p. 27)

Suas gravuras da série Le Carcere d'Invenzione influenciou muitos arquitetos até os dias de hoje. Piranesi é classificado por muitos estudiosos da Arquitetura como utópico.

Geralmente, a forma tradicional de representação do desenho em plantas, cortes e elevações abarcam o problema de comunicação de ideias entre o arquiteto, clientes, empreendedores e executores. Para a questão dos MDR deve-se ter em mente que não há uma receita pronta para os meios de representação, assistidos ou não pelos meios digitais. A pesquisa tenta mesclar vários tipos de representação mesclando metodologias das áreas náutica, automotiva e aeroespacial.

1.2.1 Essência Formal

Uma grande diferença se faz entre a forma convencional de desenho e os dispositivos “inteligentes” gerativos da forma. Arturo Tedeschi, arquiteto, exemplifica os desenhos baseados na tipologia. Apesar das limitações, desenhos têm sido o meio estável da arquitetura ao longo dos séculos pois os arquitetos têm contado com a tipologia, ou seja, o uso de soluções bem comprovadas e pré-concebidas do sistema tectônico. A

tipologia²⁶ fez o desenho não só um meio de comunicação, mas um sistema que permitiu aos designers explorar e refinar variações da abordagem da criação essencial da forma [*form-making*], dentro de um conjunto específico de restrições formais e estruturais.

Os desenhos convencionais foram atacado pela primeira vez por uma nova abordagem, a averiguação de achar a forma surgiu na arquitetura no final do século 19, que teve como objetivo investigação romântica de estruturas otimizadas encontradas através de relações complexas e associativas entre materiais, formas e estruturas. Pioneiros como Gaudi (1852-1926), Isler (1926-2009), Otto (1925) e Musmeci (1926-1981) rejeitaram tipologia e olharam para processos de auto formação da Natureza e os transportaram para organizar suas obras. Uma vez que a forma não descende de soluções comprovadas, o desenho do tradicional não podia ser utilizado como um instrumento para prever os resultados de projeto. (TEDESCHI, 2014, p.18) (Tradução nossa).

1.2.2Averiguação Formal

Tedeschi completa que há a necessidade de achar, descobrir e averiguar as formas [*form-finding*]. Elas são encontradas em modelos físicos, tais como bolhas de sabão, que geram superfícies mínimas, tecidos suspensos por pontos, que formam cavidades e estruturas ramificadas somente com as forças de compressão. Assim, o desenho como meio de investigação da forma foi substituído por modelos físicos confinados em dispositivos que demonstram como as forças dinâmicas podem moldar e achar por si otimizações formais arquitetônicas.

1.2.3 A Forma em Tempo Real

Os dispositivos e sensores tornam visíveis o que era impossível de detectar somente com a visão humana. Aqueles empregados em simuladores e modeladores por cientistas, agora estão disponíveis para estudantes e professores ampliarem e dinamizarem seus modelos de representação.

²⁶ O termo “tipologia” aqui é utilizado em relação à tectônica estrutural, cada elemento apresenta um *logos* estrutural e formal que se define em formas geométricas ou sistemas compositivos de suas variações formando famílias formais ou tipológicas.

À medida que nossas obras, objetos e cidades se tornam mais complexas, precisamos de modelos mais sofisticados de representação ligados às simulações e modelagens que possam dar conta da complexidade de nosso habitat e das forças que atuam no sistema que envolvem a obra. Nossos problemas tais como aquecimento global, desertificação, secas, enchentes e outras catástrofes naturais que advêm de um desequilíbrio que afeta todas as nações, sejam elas ricas ou pobres. O projeto otimizado para o melhor desempenho seja energético, estrutural ou formal depende do emprego de MDR no processo de projeto.

Atualmente, podemos fazer simulações com simuladores físicos que otimizem nossas casas, carros, edifícios e até estádios para que se tornem “equilibrados” e “sensíveis” às alterações da iluminação natural, do som, da ventilação e do fluxo de pessoas e multidões. As simulações e a modelagem paramétrica ajudam no dimensionamento de rotas de fuga, aberturas e brises. Os dispositivos e sensores podem controlar as velocidades das escadas rolantes, a iluminação o sistema de resfriamento e/ou aquecimento de acordo com a variação dos dados externos à obra.

Quando os movimentos passam a ser controlados e monitorados em tempo real a obra arquitetônica se torna dinâmica se aproximando dos carros e do aviões e navios que são obrigados a mudar suas características formais de acordo com variações externas: velocidade, altitude, turbulências, ondulações e etc. A adaptação às necessidades do meio se dá por diferenciais simulados e parametrizados nas fases iniciais, durante e depois do processo de projeto; estende-se ao canteiro a acompanha toda a vida da edificação.

A modelagem paramétrica é fundamental no estudo do conforto térmico e da segurança em residências, na mesma medida que o estudo do comportamento aerodinâmico em carros e edifícios. Entender seu funcionamento através de MDR com modelagem paramétrica e simulação física se torna crucial para entender as forças que estão por trás do comportamento do som, da luz, do vento, do calor para otimizar os materiais que empregamos na Arquitetura e no Design.

Essas áreas utilizam em escala crescente os modelos dinâmicos onde câmeras, sensores e dispositivos habilitados, programados e conectados a computadores e redes permitem que dispositivos digitais como *tablets* e *smartphones* possam interagir com o canteiro de obras, presencial ou remotamente, numa interação em tempo real.

São chamados de dispositivos de Visão Computacional, aqueles que interpretam através do monitoramento, a simples presença de uma pessoa, o caminhar dos pedestres, das multidões e até os movimentos de planetas, galáxias, objetos e forças errantes que vagam no espaço como asteroides, cometas e tempestades solares, matéria escura, etc.

Antes temidos e odiados, os sistemas de vigilância panópticos²⁷ serviam apenas para monitoramento e controle. Após o atentado de 11 de setembro às torres gêmeas em NY, passaram a empregar algoritmos de reconhecimento de face para o reconhecimento de terroristas. O desenvolvimento desses sistemas “inteligentes” de câmeras e sensores passaram a ser incorporados a sistemas integrados, propiciando a conexão dos automóveis às redes e auxiliando na localização, balizamento e auto condução e, num segundo momento, conectando estádios, aeroportos e estações às redes.

Segundo o pesquisador Ulisses Terra (2014), a Visão Computacional é relatada em experimentos já na década de 1950. Foi somente em 1982 que divulgou-se a primeira metodologia, com a teoria proposta por David Marr no livro *Vision*. Hoje com o desenvolvimento de diversas técnicas temos a Visão Ativa, o Paradigma Animado e o Paradigma Qualitativo e Propositado (TERRA. 2014, p. 70).

Para melhor aproximação e compreensão do problema a ser enfrentado com o MDR e a simulação algorítmica, a estrutura desta tese se configura em cinco capítulos, numa trajetória explicativa das entidades de modelagem e da programação e uso dos algoritmos. Ela foi elaborada para um leitor que não esteja familiarizado com a linguagem da programação. Hoje, o projetista seja ele artista, arquiteto ou designer pode modelar e otimizar suas formas com o auxílio da máquina numérica, com pouco de treinamento.

²⁷ O filósofo inglês Jeremy Bentham estudou o sistema penitenciário e concebeu um projeto de prisão circular, onde um observador central poderia ver todos os locais onde houvesse presos. O filósofo Michel Foucault verificou e criticou a disseminação de dispositivos disciplinares no controle social cada vez mais eficientes assim que a comunicação e informação surgiram, permitiram novas formas de vigilância sofisticadas e dissimuladas que não são facilmente percebidas pelos indivíduos. Assim, todos os dispositivos de câmeras passaram a ser chamados de sistemas panópticos que investigam e monitoram nosso dia-a-dia tal como foi previsto pelo livro 1894 do jornalista e escritor George Orwell com o seu onipresente “Grande Irmão”. Mais tarde, o romance se tornaria um filme e depois inspirou as séries *Big Brother* onde a vigilância televisiva se instaura 24hs na violação e amplificação da privacidade confinada em um ambiente repleto de câmeras.

Os que ainda não estão inseridos na era digital podem ter uma resistência ao contato com os modelos de representação, modelagem 3 D paramétrica e sistemas integrados de gestão²⁸ (BIM). O acesso a tantas informações deve percorrer um caminho seguro e assessorado por treinamento profissional. O percurso, aqui delineado, tem fins didáticos e traduz uma proposta de aplicativos livres, adaptações de tecnologias de outras áreas mas que não eliminam o processo de desenho com lápis, canetas e etc. Um projetista que tenha experiência com o desenho pode, com os novos meios de representação, potencializa-lo e não ser apenas refratário aos sistemas digitais.

As comunidades virtuais possibilitam hoje uma grande ajuda extra, os *workshops*, *blogs* e tutoriais *online* completam uma formação na atualização de tecnologias facilitadoras que deixam o ato de desenhar e projetar potencializado e integrativo. A habilidade do projetista trabalhar em equipes multidisciplinares é muito valorizada e deve ser aprendida na escola. O investimento pessoal ou das equipes de projeto podem ser grandes e consumirem algum tempo para a inserção digital, mas esta tarefa hoje é facilitada pelas presença de interfaces amigáveis e por dispositivos portáteis que tornam uma escola, atelier ou uma simples mesa de trabalho aptos a lidar com projetos na era digital.

²⁸ Modelagem da Informação da Construção (BIM) ou Modelo da Informação da Construção, em inglês [Building Information Modeling], é um processo de gestão em EAC onde as informações geradas, compartilhadas e armazenadas que funcionam como um arquivo vivo e dinâmico durante todo o processo construtivo, do projeto à manutenção formando uma espécie de memória do ciclo de vida de um edifício ou construção.

CAPÍTULO - 2 OS SISTEMAS DE AUXÍLIO À REPRESENTAÇÃO

Neste capítulo são abordados os sistemas que transformaram o processo de projeto quando eficiência e velocidade de produção tiveram que ser otimizados com proliferação da automação e a descoberta de novos meios de representação. A pesquisa destaca as descobertas mais importantes que interferiram e mudaram a maneira de projetar e representar as ideias que passaram a ser simuladas, verificadas e dinamizadas na era digital.

2.1 Evolução dos sistemas CNC

O desenho de projeto e a respectiva representação gráfica eram totalmente manuais até a Segunda Grande Guerra. Nos esforços dos aliados na produção de aviões, tanques, submarinos e navios para superar a tecnologia alemã iniciou-se a pesquisa para automatizar tornos, fresas e prensas hidráulicas, tornando a montagem mais precisa, eficiente e rápida. Em tempos de guerra, o investimento na produção foi necessário porque a mão de obra era composta de pessoas sem especialização: mulheres, crianças e voluntários.

A automação na produção acabou importando tecnologias de outras áreas. Como da área têxtil em que o francês Joseph-Marie Jacquard inventou o Tear Mecânico automatizado, idealizou um rolo com uma fita de papel com furos que instruíam a máquina automatizando tarefas, antes manuais.



*Figura 25 Fita perfurada para CNC
Fonte: KANITR 2015*

As primeiras automações em máquinas tiveram diferentes vertentes, como afirma Kanitar:

Em 1808, Joseph Jacquard utilizou cartões perfurados que indicavam as posições e ações de equipamentos têxteis. Em 1863, Fournieux patenteou a ideia de criar um sistema automático para o acionamento de pianos. Ao empregar uma fita perfurada que continha informações do acionamento do piano, Fournieux criou mais do que a pianola, pois abriu possibilidade de empregar este método em outras aplicações. No início da década de 1950, John Parsons e o MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts) desenvolveram uma fresadora que era acionada por uma fita perfurada que continha informações da movimentação da máquina para realizar a usinagem desejada (KANITAR, 2005, pp. 38-39).

Na década de 50, com a automatização, se materializaram as antigas ideias de al-Jazarí de descrever a tecnologia da máquina autônoma com precisão para beneficiar a sociedade, vencendo dificuldades impostas principalmente pela gravidade. As fitas perfuradas dos sistemas CNC deram bons resultados e logo seriam substituídas por comandos digitais assim que a máquina numérica evoluísse.



*Figura 26 Pré-radar de Detecção Acústica
Fonte: Museum Waalsdorp/ Goerz, Checoslováquia, 1920*

Se os esforços na linha de montagem das máquinas de guerra e artilharia tinham evoluído com a automação, outra revolução nas pesquisas se direcionava da detecção dos movimentos para determinar rotas ou decifrar os códigos da comunicação entre os comandos no *front* da guerra.

Invisíveis com tempo nublado e à noite, os aviões de combate e os bombardeiros representavam um perigo em tempos de guerra quanto à sua detecção (Figura 26). Primeiro foram usados instrumentos óticos (canhões de luz), depois detectores acústicos e radiação térmica. Em 1886, o físico alemão Heinrich Hertz descobre que corpos são afetados pelas ondas de rádio. Em 1897, Alexander Popov descobre que as ondas de rádio são refletidas pelo metal. Somente em 1935 o físico escocês Robert Watson-Watt patenteia a invenção do primeiro dispositivo de detecção através de ondas de rádio.

Em 1953, os engenheiros Tom Cranston, Fred Longstaff e Kenyon Taylor, da Ferranti-Packard, criaram o primeiro TrackBall para o sistema de radar/rastreamento (DATAR) da Marinha Canadense. O sistema computacional do radar era composto por válvulas, com o *trackball* sendo concebido com zero de orçamento, improvisando uma bola de boliche para a respectiva interface.

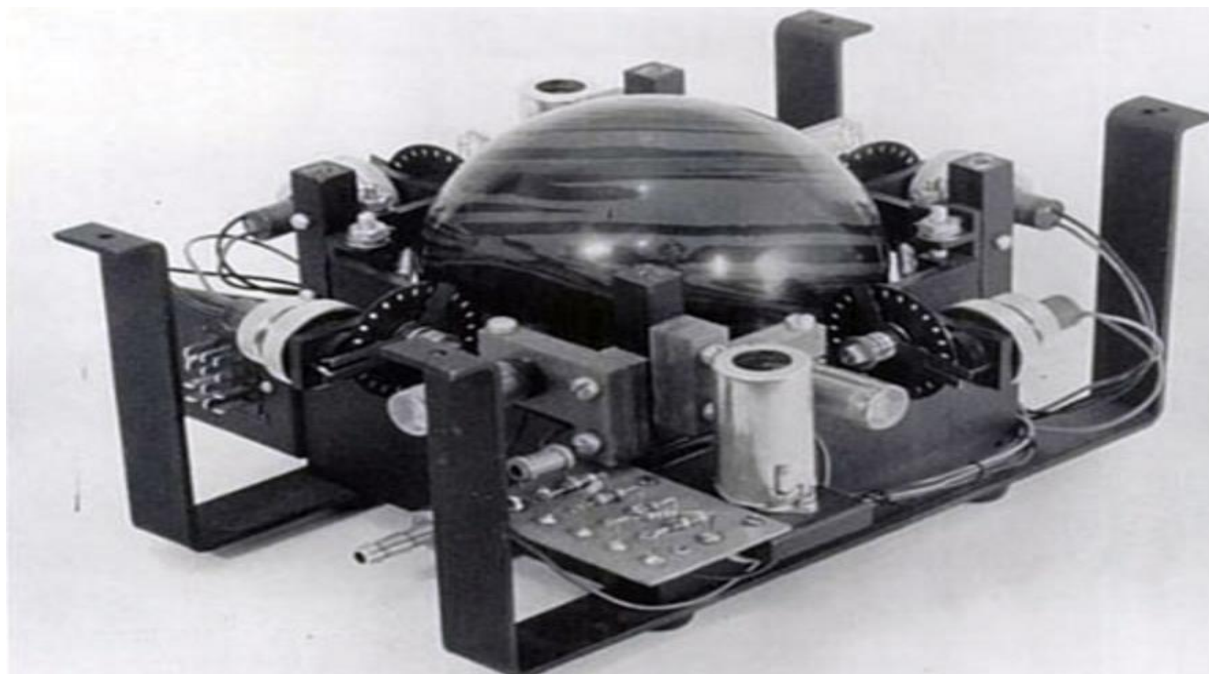
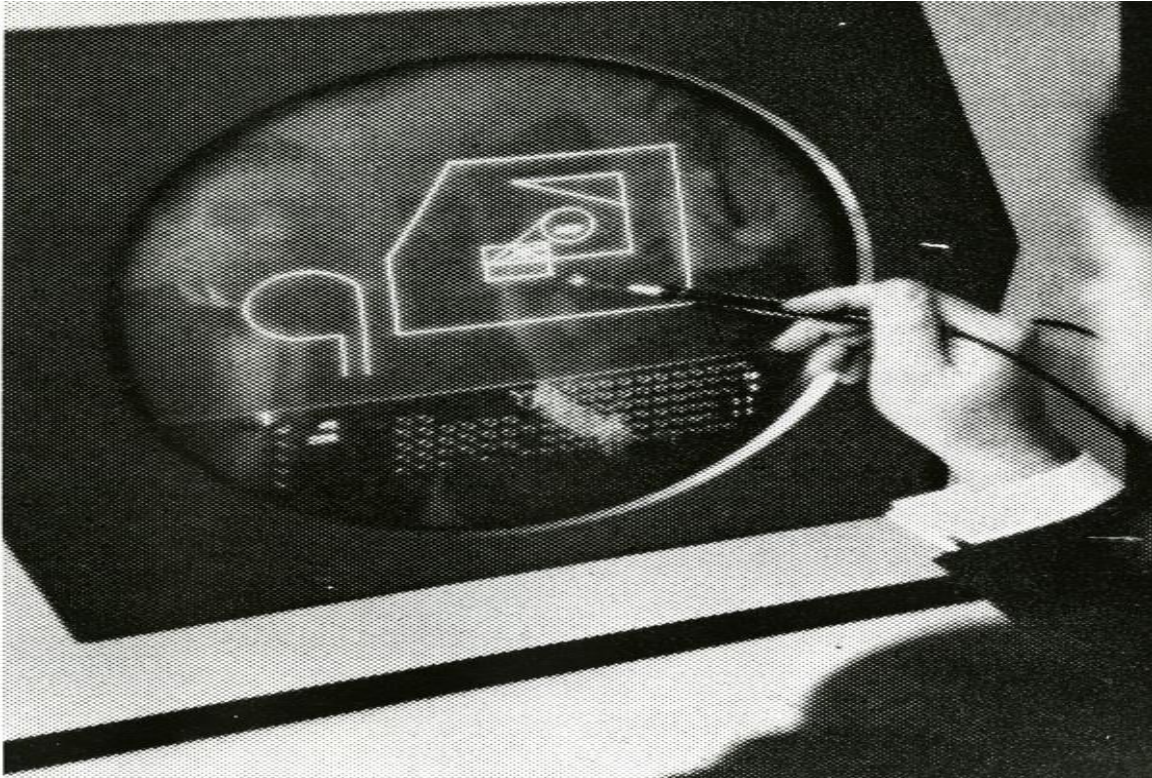


Figura 27 O Primeiro Trackball
Fonte: Ferranti-Packard Transformers Ltd

Apenas início dos anos 60 surgiria a interface para a representação do desenho, objetivando agilizar a representação técnica de Ivan Sutherland no MIT.



*Figura 28 Scatchpad
Fonte: MIT Sketchpad program, 1965*

Sutherland era engenheiro elétrico e em sua tese desenvolveu uma interface (*scatchpad*) associada a um programa e um osciloscópio. Ao movimentar a interface e acionar chaves, as linhas na tela poderiam ser editadas, assumindo características do desenho técnico convencional. As linhas representadas na tela assumiam a ortogonalidade, paralelismo e formavam cantos em conformidade ao desenho técnico. A linha finalmente pôde ser transposta para uma tela e com características paramétricas. Assumiram “qualidades” editáveis em função de regras (dados).

O crescimento e a competição, estabelecidos nos anos que se seguiram de aparente paz (Guerra Fria), aceleraram o desenvolvimentos de tecnologias associadas à precisão e a velocidade primeiro na metalurgia e metalomecânica e depois em outros setores. Os primeiros CAD rodavam em pesados computadores da IBM. Com a plataforma Sistema Operacional de Disco (DOS); [Disk Oparating System] foi possível comandar a máquina numérica através de comandos no teclado alfanumérico. A Microsoft de Bill Gates e Paul Allen percebem o potencial de instalar o DOS para que pequenos computadores se libertassem das pesadas máquinas e dos comandos através cartões

perfurados e do armazenamento de dados em fitas rolos de magnéticas. As linguagens computacionais operando com cartões ainda necessitavam de compilação, instruções precisas sem uma representação visual do erro.

O pesquisador Doug Engelbart do Stanford Research Institute inventou o mouse de computador (Figura 29) que agilizava os comandos nas coordenadas X e Y, associado a um fio e uma tela. Difundido pelos computadores portáteis, foi premiado em 1970. O mouse permanece até hoje como o dispositivo mais eficiente no dispositivo de representação gráfica para comandos e desenho.



Figura 29 O Primeiro Mouse
Fonte: Computer History Museum

A evolução do homem levou alguns bilhões de anos para implementar o polegar opositor, o que conferiu incríveis habilidades motoras e deu ao *homo sapiens* a capacidade de fazer utensílios, representar seu mundo em pinturas rupestres e de se comunicar com gestos. Não é por caso que a representação da escrita e do desenho tenham se utilizado desse fino aparato sensório- motor.

O *mouse* ainda hoje é utilizado na modelagem e no desenho. Seu desenvolvimento foi acelerado; mecanismos mecânicos na década de 70, *mouses* ópticos na de 80 e a laser no final dos anos 90. Em 2001 se libertou do fio com os *mouses wireless* e, depois, do suporte da mesa com o mouse giroscópio da empresa Gyration, também chamado de *air mouse*. Com os computadores portáteis (*notebooks*) o mouse passou para um dispositivo

sensível ao toque (Touchpad), que substituiu o mouse, utilizando células sensíveis ao toque e depois vieram as telas sensíveis ao toque (Touchscreen).

O total desconhecimento dos projetistas das interfaces que potencializam nosso aparato sensório-motor faz com que as interfaces voltadas para o projeto sejam adaptações das utilizadas em jogos eletrônicos, ou modelagem para animação de cinema ou vídeo. Os modelos de baixo custo vão dos modernos *trackballs*, às canetas digitalizadoras e os *tablets* com telas sensíveis onde se pode desenhar com o dedo.

2.2 Os Sistemas CAD de Auxílio ao Projeto

Ainda na década de 80, a Microsoft com o seu MS-DOS populariza o computador pessoal em que os dados eram gravados em pequenos discos (Hard Disks Drive) da Segate Technology, com capacidade de 5 *megabytes* de armazenamento de dados.



Figura 30 Apple 1 de 1076
Fonte: Revista Wired / 2011

O PC-DOS operou a primeira versão do Windows, sistema operacional que permitia a “janelas” facilitando a multitarefa com os computadores já mais leves. Os primeiros lançamentos foram o IBM XT, o PC-XT da Microsoft e o Apple 1 da empresa de Steve Jobs.

Em EAC e no Design, o desenho técnico elaborado por linhas, retas ou curvas se converteu em entidades computáveis do tipo malhas (*wireframe*) nos sistema CAD. Em 1982 a empresa americana Autodesk lança o aplicativo AutoCAD. Logo a máquina numérica associou essas entidades ao desenho construído por equações matemáticas que representassem essas entidades geométricas simples ainda em duas dimensões (2D). A modelagem virtual representa um objeto tridimensional (3D) ou bidimensional (2D) em ambiente computacional por meio de uma padronização das coordenadas cartesianas (sistemas de coordenadas universais) no espaço (x, y, z) . A construção da entidade geométrica é feita por meio de pontos, retas e curvas.

Editar e manipular geometrias tridimensionais com volume e a possibilidade de escala e giro é chamada de Modelagem Geométrica. Estas transformações estão relacionadas a evolução da máquina numérica frente aos mecanismos mecânicos de controle da manufatura. Além da precisão, os sistemas reduzem a colocação ou recolocação do produto no mercado acelerando a competitividade (*time to market*).

Kanitar (2005) ao analisar o impacto dos sistemas CAD no Brasil revela um baixo número de patentes requeridas através dos sistemas computacionais e aponta o InCor-Instituto do Coração, de São Paulo como uma rara exceção que há décadas utiliza tecnologia CAD no desenvolvimento de ventrículos artificiais e próteses.

À luz da Propriedade Industrial, essa reduzida quantidade de requerimentos determina que os sistemas CAD/CAE/CAM não estão sendo utilizados em sua totalidade, o que possibilitaria uma maior otimização de todos os setores produtivos (KANITAR, 2005, p. 127).

Na educação a experiência do CAD associado ao desenho também teve um impacto negativo nas décadas de 80 e 90. Em muitas escolas é comum ver os sistemas CAD associados ao desenho e à representação gráfica, como meio de "passar o desenho a limpo". Com raras exceções, os livros didáticos são manuais de "apertar botões" e não ensinam a programar as entidades no sistema CAD. A professora e pesquisadora Gabriela Celani doutorada pelo MTI nos EUA autora do livro CAD Criativo (CELANI, 2003) ressalta a experiência negativa dos alunos em relação a programação de scripts em sistema CAD

Mesmo quando os alunos de arquitetura aprendem uma linguagem de programação, a maioria deles não irá usar esta nova habilidade para expressar suas idéias de projeto. Isto ocorre, em primeiro lugar, porque para desenvolver um programa de computador é necessária certa experiência – trata-se de uma atividade que consome muito tempo. Em segundo lugar, o desenho a mão ainda é considerado o principal – se não o único – método de produção das idéias iniciais de projeto (CELANI, 2011, p. 2).

2.3 Os Sistemas Generativos

O modo como os projetistas se utilizam de computadores em arquitetura na era digital é variado e arbitrário. Designers tendem a conceituar entidades ou processos em função do usuário e, em seguida, manipular a forma e utilizar processos de fabricação com o uso de FD e moldes, seriando a peça. Esta situação cria confusão, incompreensão e incoerência para estudantes e profissionais sobre o uso adequado dos processos digitais da manufatura na Arquitetura.

Embora na Arquitetura haja preocupações com o usuário, os sistemas digitais oferecem possibilidades de gerar uma grande variedade de formas, sobretudo quando se aprende a programar ou a dominar algoritmos, que são instruções ou regras com parâmetros de entrada, comparações, decisões e avaliações que são o processamento das informações e as saídas.

Grande variedades de formas podem gerar uma organização formal e lógica como formamos uma gramática com as palavras para expressar um pensamento. Uma gramatical formal é possível de análise e síntese como a gramática ligada à expressão do pensamento verbal ou escrito.

O formalismo conhecido como gramática da forma (do inglês shape grammar) foi desenvolvido no início da década de 70 por George Stiny e James Gips (1972). Ele consiste em um sistema de geração de formas baseado em regras e tem suas origens no sistema de produção do matemático Emil Post (1943) e na gramática generativa do lingüista Noam Chomsky (1957). O sistema de Post consistia na substituição de caracteres em uma seqüência de letras com o objetivo de geração de novas seqüências. As teorias de Post tiveram diversas aplicações no decorrer do séc. XX, entre elas os fractais e as gramáticas formais. Uma gramática formal é uma estrutura computacional capaz de descrever uma linguagem formal por meio de regras e de um alfabeto. As gramáticas formais podem ser do tipo generativa ou analítica. A gramática generativa, desenvolvida por Chomsky (1957) nos anos 50, consiste em um conjunto de regras por meio das quais podem-se gerar todas as seqüências de palavras

(frases) válidas em uma linguagem, por meio de substituições a partir de um símbolo inicial. Em uma gramática analítica, por outro lado, o processo se reverte, e, a partir de uma seqüência dada de palavras, são feitas reduções sucessivas. O resultado é uma variável booleana do tipo “sim” ou “não”, que indica se a seqüência original pertence ou não à linguagem descrita pela gramática (CELANI et. al., 2006, p. 182).

2.3.1 Estratégia e Programação

Uma estratégia de segmentação da composição arquitetônica em partes e uma nomenclatura para que essas partes possam estabelecer um estilo, formando um vocabulário como em um sistema linguístico é estabelecida por Mitchell (2008) que afirma ser o discurso sobre um *corpus* de obras arquitetônicas, um conjunto de relações e funções que deve ser suficientemente extenso e variado para especificar as propriedades das partes e as relações entre elas.

Finalmente, precisamos de um sistema que permita construir asserções a partir dos nomes das partes, relações e funções: para isso podemos atribuir valores a variáveis em uma estrutura de dados, construir um conjunto de sentenças de lógica de primeira ordem, ou ainda desenvolver o discurso como uma seqüência de sentenças em português (MITCHELL, 2008, p. 37).

O emprego correto do computador na Arquitetura passa pelas teorias computacionais e formais. O arquiteto e designer deve antes de tudo aprender a programar. Somente o programador é capaz de estabelecer uma ponte teórica lógica e matemática entre a forma de projetar do passado com os meios digitais que apontem para “possibilidades” futuras.

Os meios da Arquitetura se aproximam da escultura e da pintura como uma arte visual com as preocupações com a luz, cor e a qualidades das superfícies. Nosso sistema sensorial é equipado para perceber e analisar os atributos físicos do espaço com sensações táteis, visíveis, olfativas e cenestésicas. Estes são passíveis de uma “decantação” e conceitualização formam um vocabulário de qualidades e especificações.

2.3.2 Aplicação Analítica

Os aplicativos gráficos que potencializaram os meios de representação ligados à lógica no ato de projetar passaram a controlar a sintaxe arquitetônica em modelos generativos. (MITCHELL, 2008). A metodologia analítica ajuda a se afastar de critérios intuitivos e apresenta várias soluções compartilhadas pela máquina numérica que ajuda a mapear todas as possibilidades. É um instrumento eficaz na análise e geração de elementos dentro de uma mesma linguagem.

A aplicação analítica da gramática da forma consiste no estudo de obras arquitetônicas já estabelecidas a partir das quais podem ser determinadas regras de composição e conseqüentemente a geração de novos indivíduos baseados na mesma linguagem. Já a aplicação sintética consiste na definição de novas regras para a produção de uma nova linguagem arquitetônica (GODOI, 2008, p. 21).

A Gramática da Forma se estabeleceu para associar elementos da composição formal para entidades computacionais constituindo um conjunto de regras e possibilidades para otimizar os processos de projeto e permitir gerar um maior número de soluções ao invés de uma única solução. Ela pode ser utilizada em três situações:

1. Otimização de problemas: gerar e testar as possibilidades a fim de se encontrar a alternativa que melhor corresponda aos critérios exigidos;
2. Família de objetos: variedade de problemas de projeto que exigem um determinado número de soluções similares;
3. Design Exploratório: situação onde os critérios mal definidos, avaliação de possibilidades com prós e contras para se encontrar uma solução satisfatória.

2.3.3 Algoritmos Genéticos

As variáveis de projeto, antes ligadas a processos individuais e únicos, podem ser negociadas e medidas por algoritmos genéticos que auxiliam na busca do melhor resultado possível. A metodologia para alcançá-lo ou interpretar qual seria a melhor ou as melhores soluções próximas da ideal é complexa e deve-se ter cuidado na abordagem didática no ensino da Arquitetura e Design. No uso das formas gerativas, ao contrário das

formas otimizadas, a construção da sua sintaxe não é elaborada pelo usuário. Para se elaborar um algoritmo genético é preciso conhecimentos avançados de programação.

A simulação também está envolvida nas principais metodologias. Gerar a melhor solução utilizando métodos computacionais evolutivos em busca da melhor solução (sobrevivente) pode ser dividida em três grandes campos.

Os principais métodos que compõem os algoritmos evolutivos e que serviram de base para a construção do quadro teórico para a computação evolutiva são: Algoritmo Genético, Estratégia Evolutiva e Programação Evolutiva. Esses algoritmos possuem uma estrutura básica constituída por populações de indivíduos (representando as possíveis soluções de um problema), operadores de diversidade (responsáveis pela diversificação dos indivíduos), funções de aptidão dos indivíduos (que verificam o grau de satisfação das soluções obtidas) e o operador de seleção. O que diferencia um método do outro são as representações das soluções (cadeias binárias, vetores de números ou árvores), os operadores de diversidade utilizados em cada processo, os operadores de seleção e a maneira como são geradas as populações (MARTINO, 2015 p. 89).

Uma vez conhecendo os algoritmos e seus resultados na potencialização de projeto em Arquitetura e Design, o projetista poderia pensar qual seria o melhor caminho para aprender e dominar esse tipo de arquitetura ou suas potencialidades pedagógicas no ensino.

O potencial gerativo das formas pode atender a critérios ambientais. No estado da arte desta pesquisa analisamos o edifício coBLOgo do escritório SubDv de Anne Save de Beaurecueil e Frank Lee. O posicionamento dos blocos que compõe o *brise soleil* "tropicalizado" foi utilizado um processo de otimização com algoritmos genéticos.

Na modelagem gerativa, foram utilizados o aplicativo Rhinoceros com seus *plugins* Grasshopper²⁹ e Geco³⁰. O posicionamento dos blocos foi otimizado pelo componente Galapagos que utiliza a programação e simulação de um algoritmo genético, ajudando a achar a melhor posição possível dos blocos. A análise ambiental foi aferida pelo aplicativo Ecotec da Autodesk (BEAURECUEIL, 2015, p. 325).

²⁹ Grasshopper é um plugin para o modelador 3D Rhinoceros que fornece uma técnica de modelação 3D flexível e em tempo real (www.grasshopper3d.com).

³⁰ O Plugin Geco permite que você exporte geometrias complexas e/ou orgânicas para o Ecotect da Autodesk de avaliação de desempenho ambiental (www.food4rhino.com/).

Sobre a metodologia gerativa aplicada ao critérios ambientais os professores e pesquisadores Gonsalves, Moura e Kuniochi (2015) no artigo Avaliação de Desempenho, Simulação Computacional e Projeto Arquitetônico alertam para a complexidade na busca da melhor solução.

Quanto à aplicabilidade dos processos paramétricos, a formação de respostas arquitetônicas com base na variação de único elemento geométrico, como no caso específico da fachada do escritório, pode levantar questionamentos sobre a eficácia da solução, tendo em vista a complexidade das questões que caracterizam a ocupação dos edifícios, a satisfação dos usuários e interação entre as diferentes variáveis do desempenho ambiental (GONÇALVES, MOURA et. Al., 2015, p. 312).

A aplicabilidade dos processos e sistemas Paramétrico será detalhada a seguir se afastando das múltiplas possibilidades dos processos gerativos e formativos.

2.4 Desenho Paramétrico

O Desenho Auxiliado por parâmetros é bem antigo e já bem conhecido dos arquitetos, engenheiros e *designers*. Estilos e tendências geram dados formais em que se estabelecem regras de condutas e, na história da Arquitetura e do *Design*, os estilos marcam profundamente uma época com pressões sociais distintas que imprimem no desenho regras a serem obedecidas.

Luigi Moretti (1906-1973) é um dos primeiros arquitetos a falar de processamento paramétrico na Arquitetura (junto com o matemático Bruno de Finetti). Os projetos perseguindo a ideia de gerar a forma através de relações geométricas rigorosas entre parâmetros quantificáveis relativos à visualização ideal. Moretti escreveu: Os "parâmetros" e suas inter-relações tornam-se tão a expressão, o código, a nova linguagem arquitetônica, a "estrutura", no sentido original da palavra e formas rigorosas, deficientes que concedem para essas funções (OSKOU, 2013) (Tradução nossa).

Moretti é pouco conhecido, desenvolveu uma arquitetura antes de 1945 identificada com "racionalismo italiano". Para a exposição "l'IRMOU", de 1957, projetou um estádio de futebol cuja forma era definida por dezenove parâmetros estabelecidos sob o ponto de vista do observador da partida e da economia do projeto.

Para os matemáticos, paramétrico é um termo ligado a um conjunto de números expressos como uma função explícita de um número de parâmetros. Para a Arquitetura e Engenharia e *Design*, a palavra paramétrico tem outro significado: um conjunto de regras que pode definir a tectônica de forma flexível, normalmente incluindo modeladores que simulam esses dados durante as fases projetuais.



Figura 31 Maquete Estádio
Fonte: (BUCCI; MULAZZANI 2002, p. 114)

Um exemplo, também italiano, da Engenharia, vem de Sergio Musmeci que subverte a abordagem tradicional de conceber uma estrutura em pórtico para uma ponte.

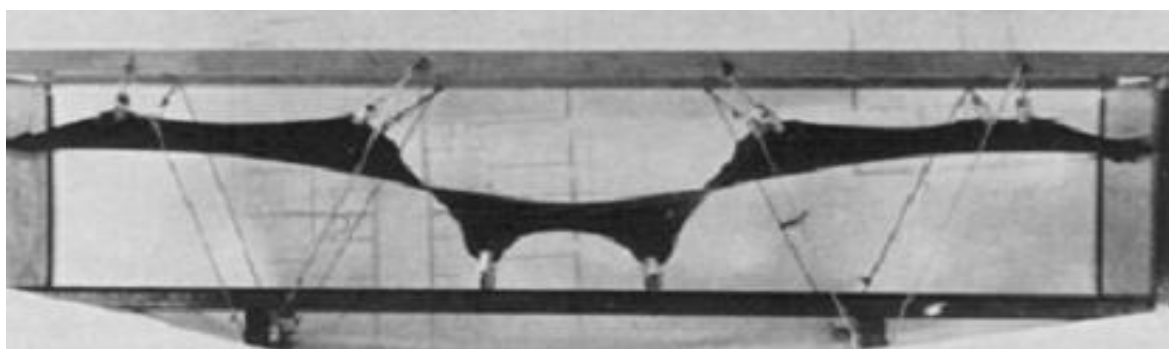


Figura 32 Foto e Modelo - Ponte Basento
Fonte: (tristotrojka.com)

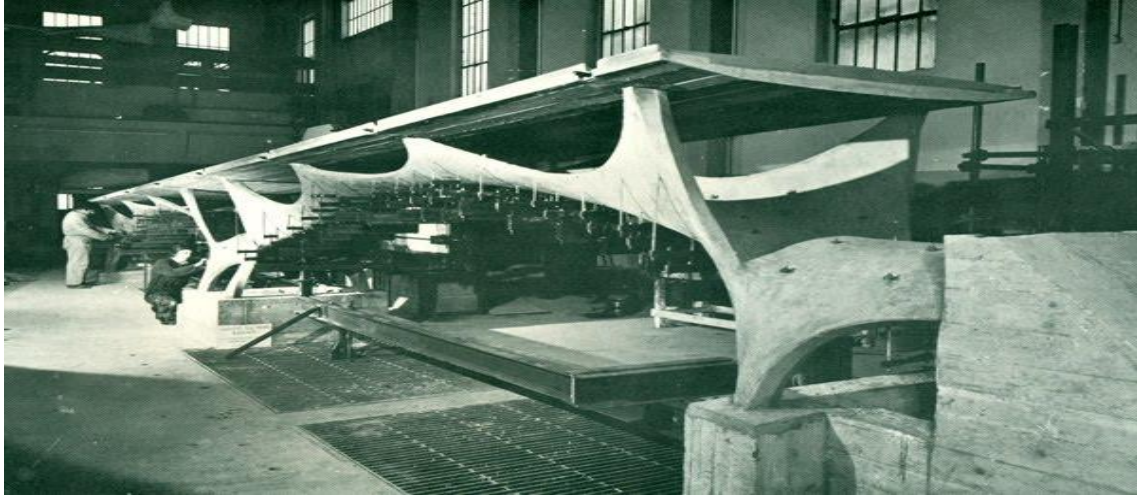


Figura 33 Protótipo em Concreto - Ponte Basento
Fonte: (tristotrojka.com)

A sua ponte sobre Basento na cidade italiana de Potenza revela uma fusão entre estruturas que normalmente estão apoiadas e disjuntas na Arquitetura e na Engenharia (pilares, vigas, arco). Na maquete utilizada por Musmeci, para se conceber a ponte é utilizado um tecido de *neopreme*³¹ flexível. O modelo em escala reduzida também teve que ser construído para análise estrutural.

Se o uso dos sistemas CAD foi banalizado nos anos 80 pela facilidade de “passar o desenho a limpo”, os sistemas CAD/CAM/CAE colocam a simulação e a variável temporal que ainda são desconhecidos e pouco explorados na prática e no ensino da Arquitetura. Os sistemas paramétricos e algoritmos são um terreno pantanoso porque o processo criativo é mediado pela máquina numérica. Inverte-se a sequência das etapas de projeto. Há a necessidade de conhecimentos de Matemática e programação e a aproximação de outras áreas do conhecimento, como a Genética e a Lógica para elaborar as estratégias de projeto com o uso de *scripts* (JABI, 2013).

Os sistemas digitais podem ir muito além da ampliação das variações formais, conectando-se a parâmetros (dados). Nos sistemas CAD/CAM/CAE e nos sistemas BIM os

³¹ *Neoprene* é um tipo de borracha sintética desenvolvida originalmente para substituir a borracha natural. É assim chamado popularmente devido a sua composição base: policloropeno, um elastômero sintético polímero do cloropeno. Foi criado pelo laboratório norte-americano DuPont, que se baseou em pesquisas de Julius Arthur Nieuwland, professor de química da Universidade de Notre Dame. Fonte: Realiza (<http://loja.reliza.com.br/que-neoprene>).

parâmetros facilitam a execução do desenho arquitetônico (Arquitetura) e técnico (*Design*) tornando as pranchas vivas e sensíveis à mudança dos parâmetros. O uso dos processos de FD fazem que a simulação e a fabricação de modelos estejam presentes em todas as fases do projeto porque os dados iniciais podem ser facilmente ajustados, interferindo na Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) da obra ou produto.

Os sistemas CAD evoluíram para os sistemas integrados CAD/CAM (SCODECK, 2005 e KOLAREVIC, 2005). O Desenho Assistido pelo Computador (CAD), Engenharia Assistida pelo Computador (CAE) e Manufatura Assistida pelo Computador (CAM) foram se adaptando às necessidades e, na melhoria de um produto ou processo, pode reduzir o número de etapas na produção, com aumento de precisão. Ao contrário do Brasil, o que se viu em outros países foi o aumento da competitividade e o melhor posicionamento no mercado das empresas e escolas que se serviram dos sistemas CAD.

A vantagem dos sistemas CAD/CAM sobre os sistemas CAD é que o modelo virtual em Modelagem Sólida Geométrica (CSG)³² pode ser concebido em relações encadeadas do tipo árvore e não sobrepostas em camadas como nos sistemas (CAD). O projeto pode em CSG em um modelador Sólido CAD/CAM pode assumir movimentação, encaixes, giro em montagens com possibilidade de movimentação das peças em relação a eixos previamente fixados. O estudo da movimentação ajuda na simulação de produtos compostos por várias partes.

Os aplicativos CAD/CAM podem ajudar na produção com uma simulação elaborada da montagem de peças. O giroscópio é um dispositivo que tem um rotor suspenso, uma base e três anéis que pela rotação e inércia conseguem anular as forças gravitacionais. Seu movimento tem uma espécie de memória que produz um efeito de horizonte artificial em aviões e nos pilotos automáticos. Nos barcos, substitui a agulha magnética, indicando o Norte Verdadeiro. O dispositivo ainda está presente em controles de vídeo *games* e nos voos espaciais.

No aplicativo CAD/CAM/CAE francês, o SolidWorks 2015, um giroscópio foi modelado em CGS a partir de dois anéis separadamente compostos. Na Figura 34 a

³² CSG se constitui em modelagem de sólidos que formam uma árvore binária de objetos primitivos e operadores booleanos; a raiz da árvore representa o produto completo compostos por vários elementos (folhas e ramos).

Geometria do anel interno é travada (elementos na cor verde) na vista frontal, e as cotas paramétricas podem ser modificadas sem que a forma altere sua proporção.

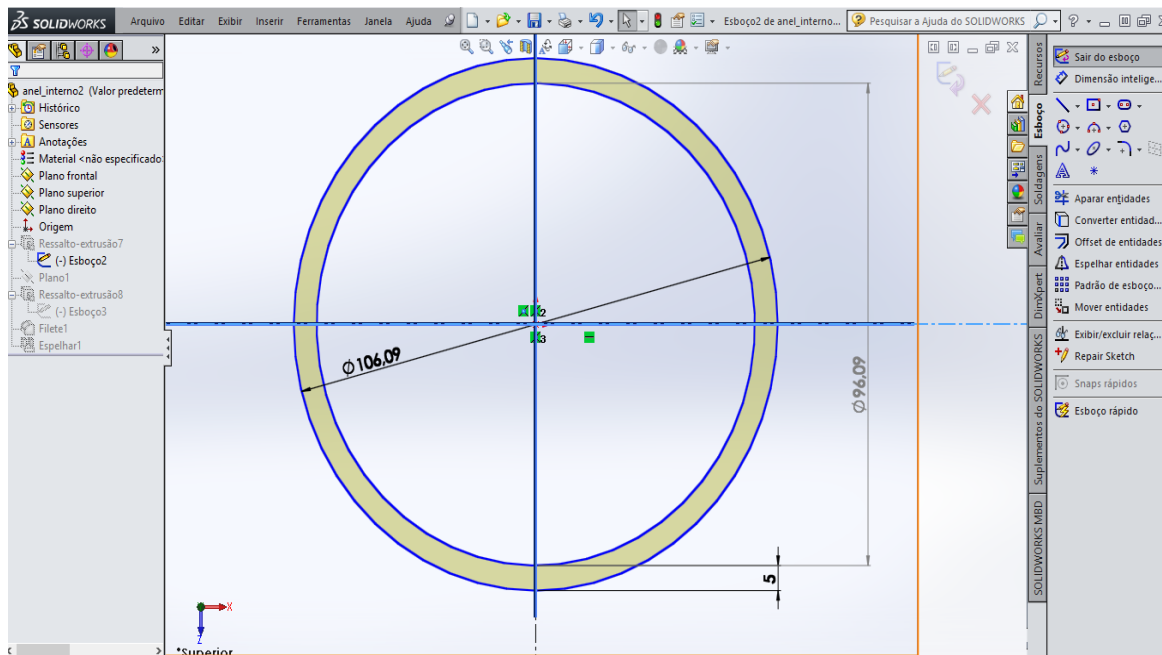


Figura 34 Anel Inferior do Giroscópio
Fonte: Elaboração Própria

Cada anel contém dois encaixes com as faces e suas distâncias controladas para que possa haver folga fundamental para possibilitar o giro. Os eixos são perpendiculares e a movimentação do giro pode ser conferida pela adição de motores rotativos virtuais em relação a uma linha de tempo. A movimentação dos anéis também pode ser verificada com a fixação do cursor sobre um anel e uma movimentação do *mouse*.

O giroscópio também possui sua peculiar característica giroscópica de rigidez, ou seja, a resistência que o movimento de giro oferece à uma mudança na sua posição espacial. Sua tendência é não mudar de posição enquanto gira, num comportamento semelhante ao de um pião girando sobre seu eixo. Se uma força é aplicada a 90° da origem do movimento, a rigidez giroscópica responderá adiantando-se em 90° e produzindo uma força resultante do rotor produzindo assim um movimento cônico, este chamado de precessão.

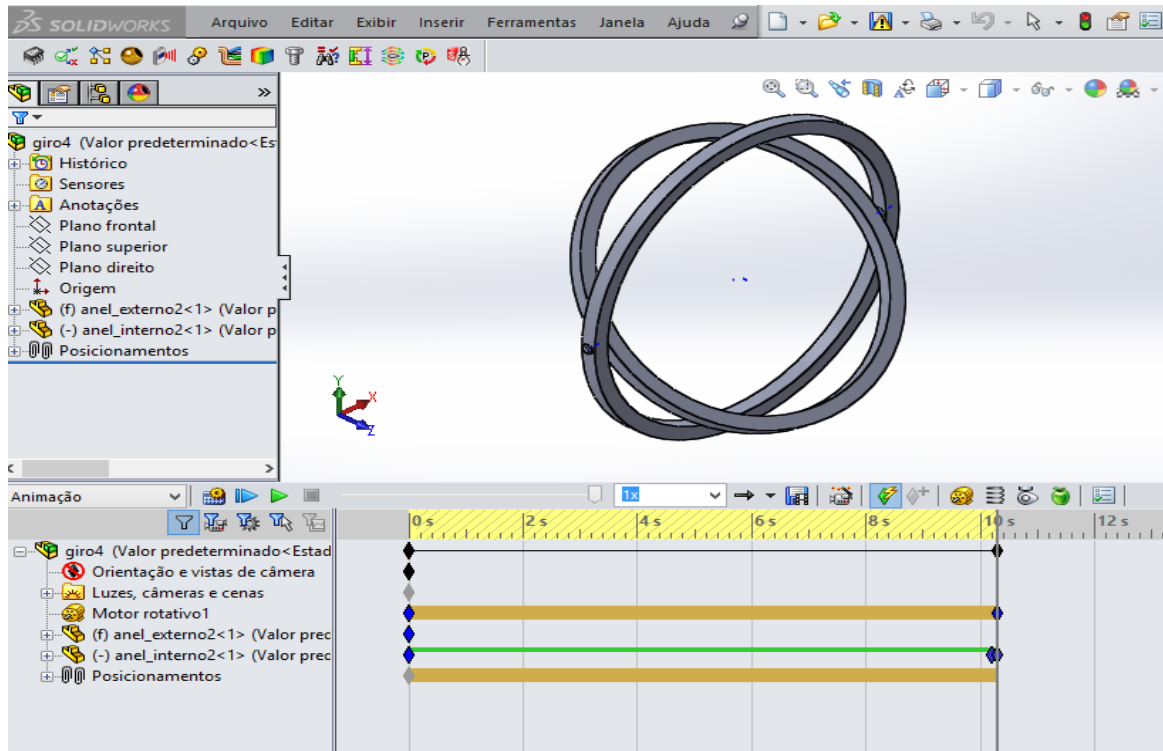


Figura 35 Giroscópio com Simulação de Movimento em CGS
 Fonte: Elaboração Própria

A simulação e a montagem virtuais de um giroscópio com o uso de MDR em sistemas CAD/CAM/CAE podem produzir animações onde são verificadas as forças de precessão e de inércia de um giroscópio virtual. Os complicados movimentos e encaixes mecânicos funcionam virtualmente, sem que nenhuma matéria tenha sido fabricada.

Na Figura 35, no quadro superior à direita, tem-se a hierarquia de modelagem do tipo árvore, com os planos diédricos (frontal, superior e direito). No quadro abaixo, as entidades sólidas de dois anéis, luzes e motores virtuais conferem ao modelo virtual, no centro da imagem, características de um MDR. A linha de tempo é composta pelas faixas verde e amarela e um botão aciona a animação virtual.

A modelagem com o uso de MDR possibilitou a simulação em sistema CAD/CAM; o aplicativo exporta os arquivos em extensão STL, permitindo a FD. Após usar as peças é possível elaborar a montagem física destas, aplicando-se forças de rotação e testando os movimentos do giroscópio no mundo real.

Os aplicativos CAD/CAM/CAE estão globalizados e já se encontram formatados para diversas línguas. Há tutoriais disponíveis na rede e fóruns de discussões com ampla

quantidade de informação e exemplos. Na década de 80, os aplicativos CAD não tinham essa facilidade, e o acesso a bons livros e tutoriais eram mais restritos. Mesmo com as facilidades encontradas, é raro ver usuários que programam e utilizam toda a potencialidade dos sistemas CAD/CAM.

2.5 Desenho Auxiliado por Algoritmos (AAD)

O desenho paramétrico ganha força com a simulação e o uso dos algoritmos. Eles potencializam uma arquitetura de forma “expressiva” (TERZIDIS, 2003). Oferecem diversidade formal ao projetista e, através de aplicativos voltados à tomada de decisões de projeto, a análise do desempenho ambiental, das forças físicas e da aplicação de geometrias predefinidas.

Expressiva é um termo que difere, mas é muitas vezes confundido com a dinâmica. Enquanto dinamismo implica animação, movimento e ação, expressividade incorpora algumas das qualidades mais intrínsecas, existenciais e únicas de forma: caráter e identidade. Expressividade é personalidade, individualidade e idiosincrasia. Em suas implicações conotativas, captam o espírito ontológico da forma e do processo de modelar suas forças. Adquirem significado, importância e quintessência (TERZIDIS, 2003, p. 1) (Tradução nossa).

As simulações arquitetônicas com aplicações de algoritmos associados às novas bases digitais podem distorcer, deformar, girar, escalar, seriar, torcer, espichar, achatar, alongar etc. Ampliam-se quando associadas ao vinco e à dobra feitas com o objetivo de melhorar o desempenho estrutural, funcional ou facilitar a insolação ou ventilação. Caso as possibilidades aumentem ou fiquem difíceis de escolher um algoritmo genético, pode-se apontar a melhor solução a partir do sobrevivente, justamente direcionado para aquela determinada escolha.

Um profundo progresso aconteceu desde a década de 1980 até os dias de hoje. Pesquisas acadêmicas e práticas de vanguardas (*avant-garde*) — que tentam escapar limitações da edição e das simples aplicações de *software* — exploraram novas formas de manipular o *software* "por dentro" com o objetivo de encontrar soluções inexploradas e formas através da programação. Muitos *designers* logo perceberam que os programas mais sofisticados poderiam gerenciar a complexidade além das capacidades humanas através da estruturação de rotinas e procedimentos. Este tipo de modelagem baseado em

linguagens de programação que expressam instruções de fórmulas podem ser executadas pelo computador através de um procedimento passo-a-passo: o algoritmo (TERZIDES, 2003, p. 22) (Tradução nossa).

Algoritmo pode ser entendido como um conjunto de instruções na busca da resolução de problemas. O algoritmo contém passos pré-programados podendo ser mecânicos ou resolvidos com auxílio da máquina numérica. A abordagem dos algoritmos ligados à forma e à geração da forma foi rapidamente visitada neste capítulo.

A Arquitetura e o *Design* sempre necessitaram de dispositivos intuitivos, mecânicos e matemáticos para solucionar problemas do traço aliados à Geometria e à tectônica das obras. Dos dólmens³³ ao ábaco³⁴, as formas tectônicas precisavam de procedimentos e estratégias para sua construção. A estabilidade de certas curvas foi logo notada na construção para vencer grandes vãos. Das câmeras funerárias egípcias às estradas e vias romanas bem como os templos gregos à utilização de pórticos em pedra, todos os elementos foram devidamente empregados e desenvolvidos. Os esforços centrais eram direcionados tangencialmente para as laterais, possibilitando a superação de vãos.

Os arcos eram construídos com auxílio de pesos e cabos que asseguravam o empilhamento no período medieval. Posteriormente, os avanços da Matemática e da Física permitiram o desenvolvimento dos arcos e pórticos, estes assumindo formas mais estáveis que as obtidas por processos intuitivos e práticos. Somente no século XVII é que ocorreu a descoberta da diferenciação, oriunda da Geometria, da curva da parábola com a da catenária, isto pelas mãos dos irmãos Leibniz e John Bernoulli.

³³ Dólmes são estruturas megalíticas tumulares, semelhante ao pórtico, encontradas em todos os continentes até o final do III milênio a.C.

³⁴ Dispositivo de cálculo composto de bastões paralelos e bolinas que facilitam a contagem mesopotâmia de III milênio a.C.

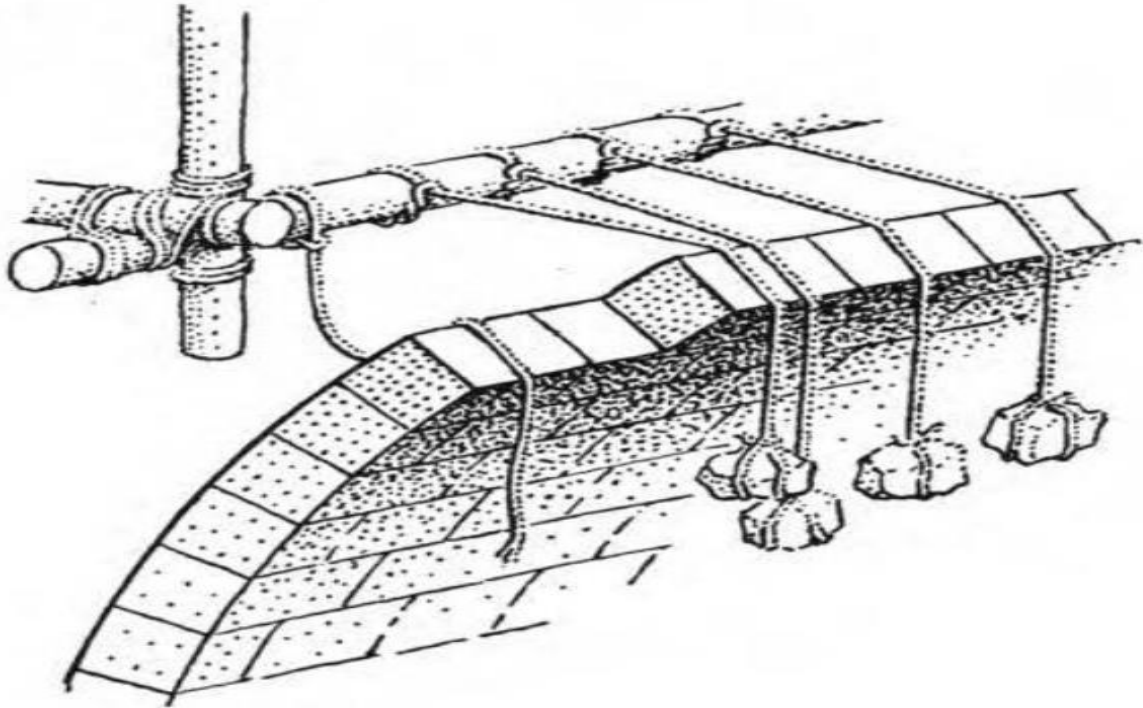


Figura 36 Construção Medieval de um Arco
Fonte: Fitchen 1961

A curva se chamou catenária em razão da aproximação com a palavra cadeia. A curva composta por segmentos descreve uma forma em cadeia fixada por dois pontos quando submetida à força da gravidade. Como uma corrente ou colar, seus elos ou contas se ajustam, empurrando seu vizinho e deixando a curva acomodada com as pontas mais arredondadas do que as parábolas com a mesma amplitude.

O aplicativo de modelagem 3D Rhinoceros³⁵ utilizado com o Grasshopper³⁶ pode comparar as duas curvas por meio do Desenho Auxiliado por Algoritmos (AAD). O Grasshopper utiliza a linguagem *Software Developers Kit* (SDK) que facilita a programação e a compilação de um algoritmo.

Os programadores que já lidam com outras linguagens, como a VB (Visual Basic) ou C (e C#), encontram componentes que rodam suas programações dentro do ambiente do Grasshopper.

³⁵ Bob McNeel é criador da popular plataforma CAD de baixo custo, com aplicações (*plugins*) para Arquitetura, Engenharia, programação visual (Grasshopper), Mecânica, Topografia, joalheria, calçados, indústria naval, cálculo de estruturas, fabricação digital, renderização, robótica etc. (www.rhino3d.com).

³⁶ O arquiteto David Rutten trabalhou com MacNeel em 2006, quando criou o Grasshopper *plugin* gratuito de desenvolvimento aberto que torna o Rhinoceros paramétrico e facilmente programável (www.grashopper3d.com).

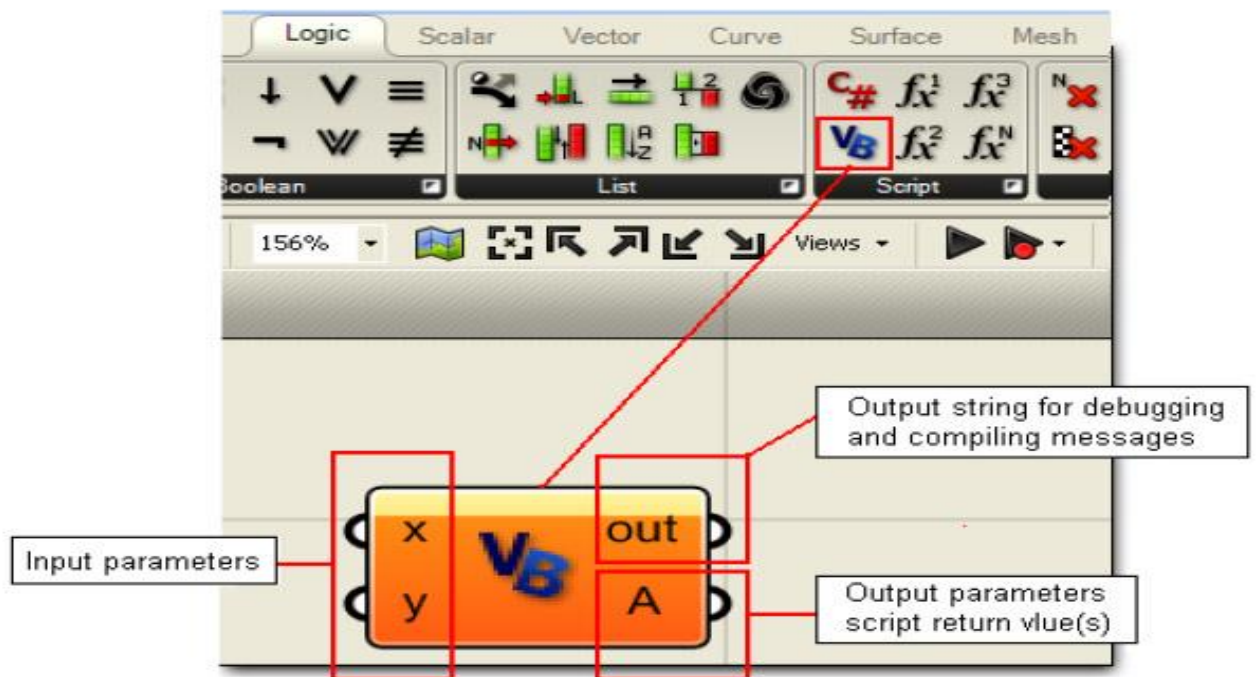


Figura 37 Componente VB do Grasshopper
 Fonte: Grasshopper Tutorial

Os algoritmos estão dispostos em pastas de acordo com suas funções matemáticas e assumem o formato de pilhas com entradas e saídas; a compilação é feita no formato de cores e avisos que facilitam a programação. A cor laranja significa que o algoritmo do componente não está ligado a nenhum dado.

A Curva Catenária pode ser facilmente elaborada com o Grasshopper que tem um componente Catenário que, ao ser associado a dois pontos no programa Rhinoceros, tal curva se forma parametricamente, podendo ser ajustada com a gravidade através de componentes que geram a força gravitacional.

A curva na cor verde está associada ao componente em verde, ao clicar sobre um componente ativo ele assume esta cor para sua fácil identificação e localização.

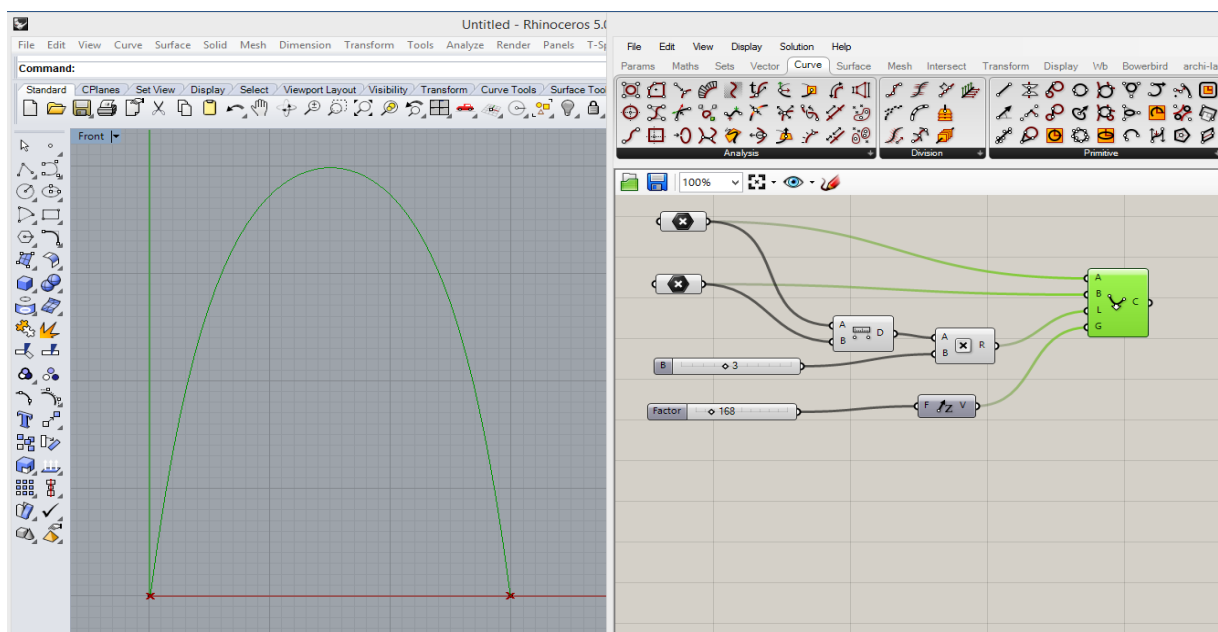


Figura 38 Curva Catenária em ADD
 Fonte: Elaboração Própria

Nota-se que os dois pontos no eixo X correspondem a dois componentes que alimentam o elemento da Catenária (verde). Os fios que ligam outros dois componentes vão medir a distância que, multiplicada por determinado fator, vão fornecer dados da amplitude da curva.

A curva é modelada no Rhinoceros e interage com a tela do *plugin*³⁷ Grasshopper que por sua vez tem o nome de definição (*definition*). Nela, vários algoritmos podem rodar em diferentes linguagens com simulação e compilação instantâneas e dinâmicas.

Comparando a parábola com a catenária, vê-se que as curvas partem dos mesmos pontos e possuem a mesma amplitude; a curva azul da catenária sofre a ação da gravidade e assume a forma mais arredondada, sendo a parábola em vermelho a deter a forma mais delgada.

A aparente proximidade visual implica em sutilezas matemáticas e enormes diferenças tectônicas. Os algoritmos formam blocos interligados sobre as cores vermelha (Parábola) e azul (Catenária) que facilitam a visualização do desenho paramétrico, este formado por fórmulas matemáticas (algoritmos).

³⁷ Plugin, é um termo da língua inglesa (*plug-in, add-in* ou *add-on*) já incorporado à língua portuguesa, significa um módulo de extensão e é utilizado para adicionar funções a outros programas maiores.

Desta maneira, curvas superfícies e formas complexas com o AAD podem ser simuladas e ajustadas conforme a variação de dados de entrada dos algoritmos. Os MDRs são facilitadores que podem gerar formas complexas com propriedades matemáticas.

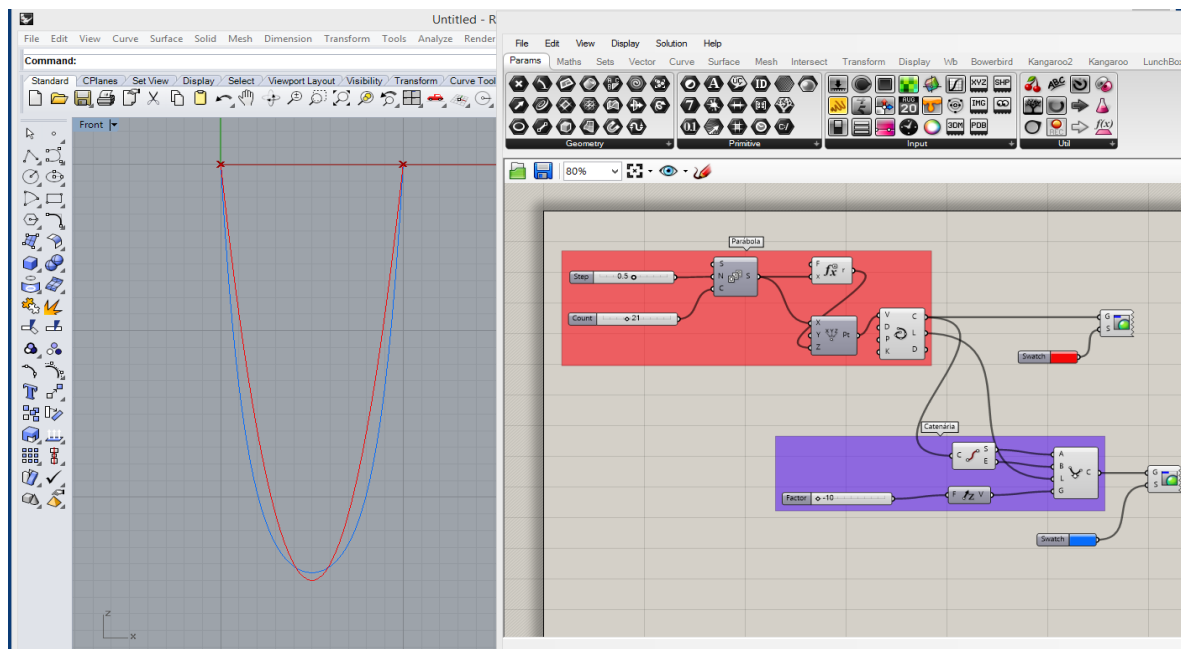


Figura 40: Comparação - Parábola (vermelha) Catenária (Azul)
Fonte: Elaboração Própria

À medida que o trabalho se define em uma forma, ele pode deixar de ser paramétrico e, com a FD, ser usinado, cortado ou seriado em moldes. Esta enorme flexibilidade difunde o desenho com o uso de AAD nas comunidades virtuais onde é comum a troca de *scripts*, definições e tutoriais.

2.6 Modelagem da Informação da Construção (BIM)

A Arquitetura, o Urbanismo e o *Design* passaram a ter relação com a sustentabilidade, com uso de materiais e processos adequados e com custos de produção e qualidade controlados nas fases de projeto, assemelhando-se aos métodos de produção da manufatura (KIERAN; TIMBERLAKE, 2004). A tecnologia foi utilizada nos processos industriais e, depois, nos grandes eventos esportivos ligados às Olimpíadas e, a seguir, disseminada globalmente pelos grandes escritórios. Primeiro, surgiu a tecnologia do desenho auxiliado pelo computador CAD, depois o paramétrico ligado à geometria com

um modelo flexível a favorecer a simulação com CAD/CAM e, posteriormente, o desenho auxiliado por pró-algoritmos do tipo AAD.

Com o processo de globalização, a tecnologia de gestão de projeto integrado à qualidade, à durabilidade e sustentabilidade difundiu-se para todas as áreas, especialmente para as escolas de Arquitetura (MEREDITH, 2007; SALINGAROS, 2010). Novas geometrias foram utilizadas para resolver problemas complexos da Arquitetura, especialmente aeroportos, zonas portuárias degradadas e estádios (POTTMANN, 2007). Os investimentos em gestão da informação a construção (BIM) e tomada de decisão em projeto se tornaram obrigatórios em vários países para garantir um padrão de projeto e o rápido retorno financeiro do investimento.

Inserida no processo BIM (Building Information Modeling), a análise de desempenho ambiental possibilita a predição das condições de conforto e eficiência energética do edifício, e passa a ser um instrumento de avaliação, direcionando as decisões projetuais de maneira integrada aos diversos elementos definidores do resultado arquitetônico. BIM é um processo aperfeiçoado de planejamento, projeto, construção, operação e manutenção que usa um modelo-padrão de informação mecânica legível para cada instalação, nova ou velha. Esse modelo contém toda a informação relevante, criada ou associada àquela instalação em um formato acessível a todos durante seu ciclo de vida (NATIONAL BUILDING INFORMATION MODELING STANDARD apud GONÇALVES; MOURA *et. al.*, 2015, p. 303).

Com relação ao ensino do BIM, vale ressaltar que há problemas estruturais no magistério dos sistemas CAD/CAM, ressaltadas nesta pesquisa em relação à programação. Com o ensino do BIM, os problemas se tornam ainda maiores. Segundo a pesquisadora Vivian Delatorre que estudou a implantação do BIM no ensino em escolas nacionais e internacionais de Arquitetura, ressalta-se que:

Os autores ressaltam que cabe um estudo mais aprofundado da inserção do BIM nas fases iniciais do curso de Arquitetura e Urbanismo, na busca de compreensão das potencialidades e deficiências no ensino de desenho arquitetônico, em relação ao método tradicional — seja o desenho à mão (com instrumentos tradicionais) ou representação digital baseado apenas em elementos bidimensionais. O intuito é mudar métodos de ensino-aprendizagem e evitar que o ensino do BIM venha a ser aplicado apenas como mais uma ferramenta de CAAD, sem incorporar os conceitos mais profundos da tecnologia (DELATORRE, 2014, p. 85).

O Processo Integrado de Modelagem e Gestão lida com a abordagem BIM em diferentes níveis da construção civil: proprietários e gestores de facilidades, projetistas,

construtores e fabricantes. As escolas de Arquitetura no entanto, em geral, solicitam dos alunos apenas um pré-projeto ou anteprojeto como Trabalho Final de Graduação (TFG), deixando em segundo plano as questões do ensino do desenho tradicional bidimensional, da modelagem paramétrica tridimensional e do ensino das entidades de modelagem.

Já Regina Ruschel aponta para o problema mais específico da incompatibilidade dos sistemas BIM com os sistemas formativos, baseados em algoritmos e entidades paramétricas chamadas de Modelagem Algorítmica (Algorithms-Aided Design – AAD). O ensino do ambiente de modelos dinâmicos formativos conta com linguagem e programação encapsuladas. Os aplicativos contam com *plugins* para a parte criativa da modelagem paramétrica: Grasshopper para o Rhinoceros, Dynamo para Revit ou Vasari (da AutoDesk) e o Generative Component para o AECOsim da Bentley.

Para implementar no ensino de arquitetura os modelos de concepção digital — formativo, generativo e baseado em desempenho — mediados por BIM requer-se incluir o ensino da programação visual para modelagem parametrizada, conhecimento de interoperabilidade e de tradução de modelos (RUSCHEL, 2014, p. 8).

A complexidade dos Sistemas Formativos aplicados aos Modelos Dinâmicos de Representação (MDR) é parte do processo criativo e depende da programação. Opinião esta compartilhada por diversos autores que assinalam a preocupação de formar o aluno no sentido de lidar com conceitos lógicos e programáveis como algo mais importante do que “apertar o botão” ou editar modelos externos vinculados ao seu processo criativo.

Atualmente vemos novos tipos arquitetônicos que fogem do padrão tradicional imposto pela construção civil, onde ainda se faz uso dos mesmos materiais de séculos passados, que as paredes de alvenaria retilínea são as únicas possíveis, estruturas pesadas, com vigas e pilares ortogonais, sem permitir que a “caixa” seja quebrada, onde a experimentação formal do arquiteto limita-se ao sistema de construção. Esse novo sistema de tecnologias de representação e experimentação formal revolucionou o ensino de arquitetura e urbanismo e também norteou pesquisas que buscavam novas formas de construir aquilo o que agora é possível projetar com o suporte dessas novas plataformas, novas materialidades e tecnologias construtivas. Essas novas técnicas e os sistemas computacionais permitem que estudos de insolação, de ventos, resistência de materiais e estruturas e outros sejam realizados através de simulações computacionais, e depois reproduzidos e sistematizados em imagens, vídeos (CLARO et. al., 2001, p. 125).

Desta maneira, novos meios de representação em sistemas CAD abrem possibilidades nas disciplinas voltadas ao CAAD (Computer Aided Architectural Design) e ao *design* que envolvem vários aplicativos que foram aqui delineados em ordem de complexidade.

2.7 Fabricação Digital

A metodologia de projeto ligada à Prototipagem Rápida (PR) e à Fabricação Digital (FD) (WANG, 2002) é utilizada no *Design*, Arquitetura e Engenharia (VOLPATO, 2007; LIOU, 2008). Áreas como Medicina, Odontologia, Ortopedia e Robótica também utilizam métodos de fabricação digital em próteses, substituição de ossos e dispositivos robóticos.

A Fabricação Digital completa os sistemas CAD/CAM/CAE, AAD e BIM, fornecendo modelos de estudo, aparências, protótipos nas fases de projeto ou ensino com uso de simulações em 3D e modelos usinados por máquinas robotizadas (BONSIEPE, 1978; DE GARMO, 1999). O emprego de materiais de última geração: a metodologia de FD, em ambientes em rede, permite desenvolver modelos virtuais com adição de novos materiais simulando o objeto real. Ambientes remotos e colaborativos se relacionam em diferentes níveis de conectividade, assim, a simulação permite vivenciar cenas digitais como se fossem reais.

Outra vantagem dos sistemas e a FD é que os *ateliers* de *designers* e arquitetos estão ressurgindo com as novas formas de produção e autofinanciamento, ou através da rede financiamento coletivo (*crowdfunding*). O pesquisador e professor Magri (2015), analisando o movimento de transição na produção moveleira brasileira ressalta:

Estamos assistindo o ressurgimento dos ateliês que agora se apresentam atualizados, com recursos de modelagem para customização, equipados com maquinário digital, conectados em nuvens que possibilitam a distribuição da produção. Surgiu o conceito da fabricação digital e, com ele, o conceito de fábrica total (MAGRI, 2015, p. 164).

A pesquisa de Magri aponta para pouco uso nos ateliês visitados de novos materiais sintéticos, renováveis e compatíveis com a FD. Os materiais mais utilizados

foram o poliuretano, o isopor, MDF e OSB. O uso destes materiais é frequente também no laboratório, mas ainda não se tem uma estrutura adequada para o uso de resinas e fibras que se ligam ao ensino da Arquitetura e *Design*. A pesquisa propõe uma abertura para novos materiais de alta *performance* com o emprego de moldes, injeção de polímeros e laminação de compósitos

1.7.1 Novos Materiais

O estudo de novos materiais será aplicado aos modelos em escala (KOEHL, 2003) simulando novas características de durabilidade, conforto térmico, resistência e leveza. (ASHBY, 2011). A metodologia para escolha do material adequado para projetos com o uso de FD deve se utilizar da metodologia focada na seleção de materiais, segundo Chiner (apud ZALESKI, 2006).

- Definição do projeto;
- Identificação das necessidades;
- Análise de propriedades dos materiais requeridos;
- Seleção de materiais com uma base de dados;
- Avaliação e decisão do material por métodos de vários critérios;
- Testes de verificação para obter medidas de confiança do material no serviço;
- Utilização do produto.

Hoje, o uso de aplicativos específicos ajuda o projetista na determinação do material correto, seguindo as etapas distintas com o emprego de FD e PR. A escolha do material é um fator determinante para o bom funcionamento e fabricação viável e de baixo custo de qualquer produto, dado que os materiais estão no núcleo de todos os avanços tecnológicos (ANIL et. al., 2007). A seleção de materiais está envolvida no processo de delineamento do *design*, no processo de fabricação, nas propriedades que os materiais adquirem no uso e no perfil meio ambiental dos mesmos.

Para escolha dos materiais existem ferramentas digitais que auxiliam o projeto, como o aplicativo Ces Selector (GRANTA DESIGN, 2015). A escolha de materiais tem foco no EAC e no *Design*, permitindo a sustentabilidade de materiais que tenham a pegada

ecológica positiva. Esta escolha se orienta pela ampla base de dados de materiais e informações do processo produtivo. O aplicativo para PC permite que os especialistas em materiais e equipes de desenvolvimento de produtos encontrem, explorem e apliquem dados de propriedades de materiais adequados às intenções de projeto, e facilita também a tomada de decisões na etapa inicial do projeto, o redesenho ou substituição de materiais e a verificação da existência de possíveis problemas.

Apesar das características técnicas dos materiais (propriedades físicas e químicas) terem sido amplamente estudadas na ciência e na Engenharia por anos, é importante reconhecer que os materiais possuem aspectos intangíveis. Segundo KARANA et. al. (2008), os materiais atribuem significados para os seus produtos. Por exemplo: a durabilidade é associada à rigidez e peso do material (KARANA, 2010).

Nos experimentos desta pesquisa, pode-se implementar a técnica utilizada por Rios et. al. (2001) na fabricação de um elastômero para uma banda pneumática reforçada com partículas e fibras. Pode-se também testar materiais utilizado para as peças estruturais de aeronaves por causa do seu desempenho à resistência da fadiga e à corrosão, e principalmente peso reduzido (DURSUN; SOUTIS, 2014).

2.7.2 Impressão 4D

A impressão 4D ou seja (Impressão 3D + deformação dinâmica) é desenvolvida em colaboração entre a Self-assembly Lab do MIT e a Autodesk, tendo como foco novos materiais ou materiais inteligentes (*smart materials*). Para isto utilizam a impressora Stratasys Connex com a capacidade de adicionar transformações e alterações na forma, com mudanças de um estado para outro.

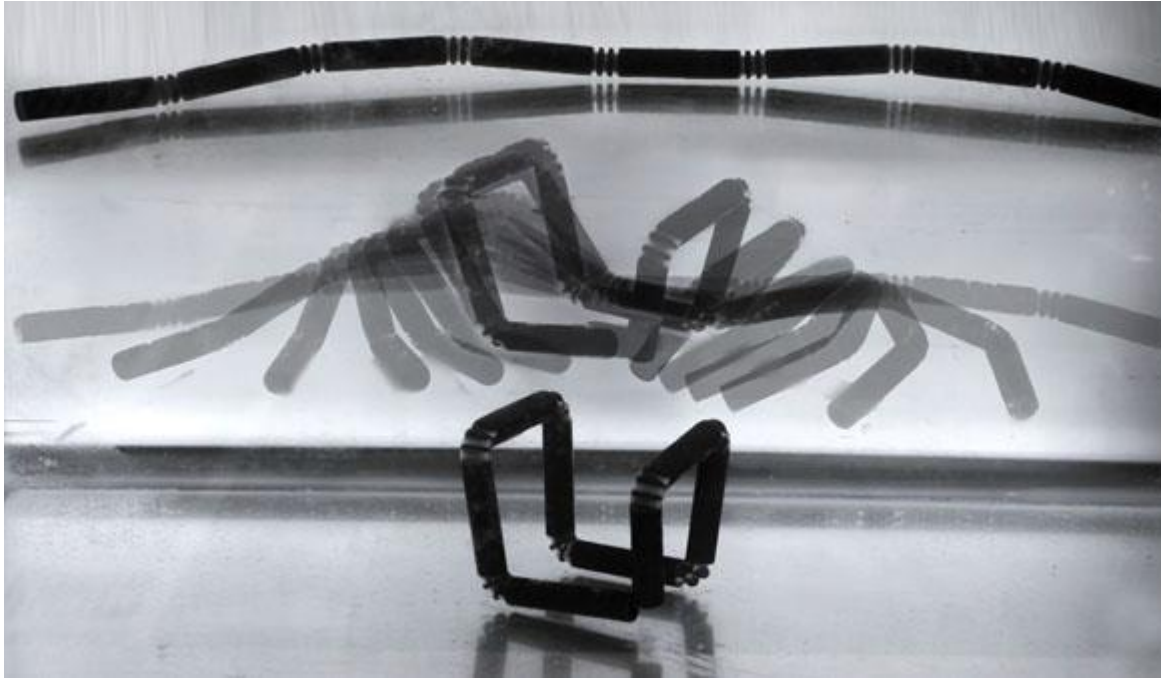


Figura 39 4D Print
Fonte: Auto-assembly Lab - MIT

Com potenciais aplicações na robótica, nanotecnologia e nas viagens aeroespaciais, a produção de produtos adaptáveis, peças de vestuário ou mecanismos que respondam às mudanças do ambiente, independem de mecanismos eletrônicos. Usando apenas água, calor, luz ou outra fonte de energia simples, esta técnica oferece capacidade de adaptação e resposta dinâmica de estruturas e sistemas de todos os tamanhos.

Materiais de Mudança de Fase (MMF), em inglês, [*Phase Change Materials*] consistem no encapsulamento de microesferas dentro de uma matriz para serem ativadas com oscilações de temperatura do ar, humidade, pressão etc. Estes materiais podem manter a temperatura mais perto da temperatura desejada durante um período mais longo de tempo (KHUDHAIR; FARID, 2004). Os materiais de mudança de fase têm sido estudados nos últimos 20 anos; Zalbaa et. al. (2003) elaboraram uma lista de 150 materiais usados em MMF, dos quais 45 destes são comerciais.

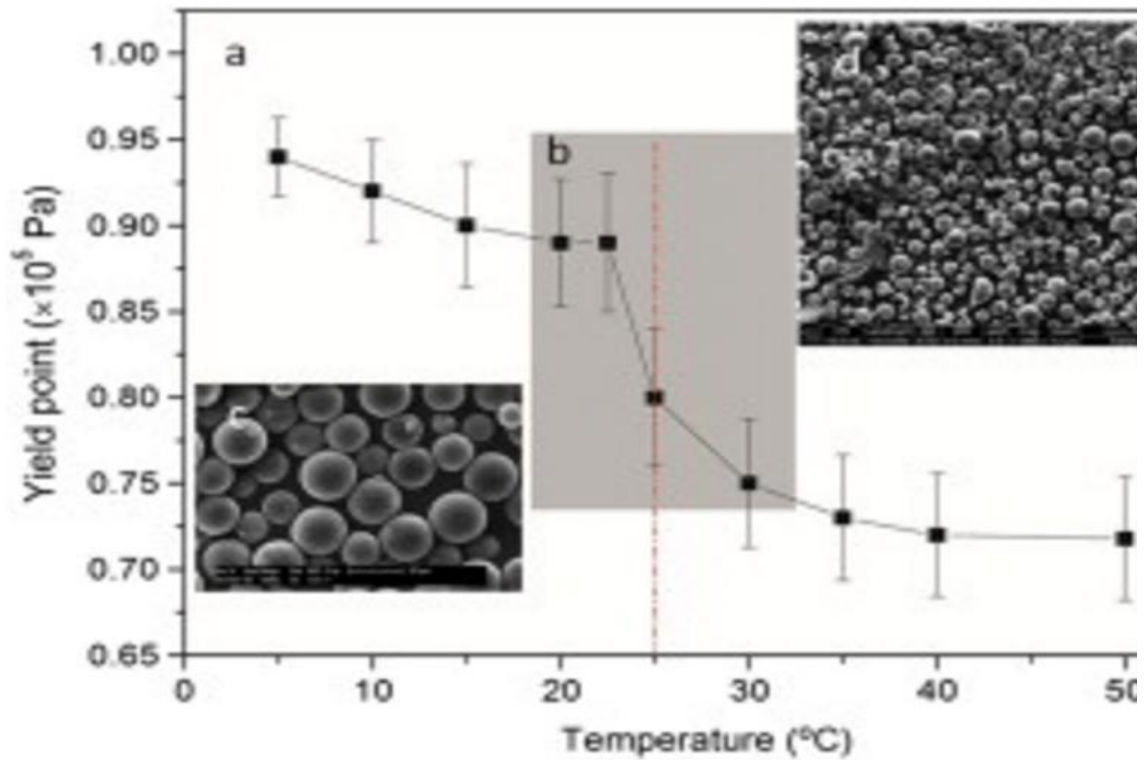


Figura 40 Microesferas de Parafina
 Fonte: (SU et. Al., 2012)

Materiais com memória de forma que respondem a estímulos particulares como calor, luz e químicos são a mais nova opção a ser empregada em projetos de alta *performance*. Já que estes materiais são capazes de recuperar a sua forma original, depois de ter sido quase plasticamente distorcida, são ideais para um sistema inteligente integrado, em que “o material é a máquina que pode sentir” e em seguida, gerar movimento reativo como pré-programado (SUN et. al., 2012).

CAPÍTULO - 3 MODELOS DINÂMICOS DE REPRESENTAÇÃO

Os sistemas apresentados dinamizaram o processo de projeto e alteraram a linha de montagem. O desenho e a representação tiveram a necessidade de otimização da eficiência e *performance*. O desenvolvimento nasceu da intuição e percepção humana que foi ampliada, simulada e representada. O método intuitivo mostra que as primeiras régua e curvas utilizadas com pesos assumiam formas orgânicas nos cascos de navios, cabines e asas dos aviões e nas carrocerias dos automóveis. O desenvolvimento foi lento e gradual até chegar na Arquitetura e no *Design*. A simulação e os MDRs percorreram um longo caminho até se popularizarem nos aplicativos CAD/CAM/CAE de auxílio ao desenho.

3.1 Evolução das Curvas Suaves

Régua com pesos feitas com materiais flexíveis (bambu, chumbo) ao longo da quilha de uma embarcação, buscando a geometria de linhas de forma livre, foram utilizadas na construção de cascos de navios, ajudando assim a reproduzir e seriar os cascos.

O primeiro uso registrado de utilização de curvas está relacionado à produção de cascos na construção naval Romana anteriores a Cristo. As ripas curvas em madeira formavam moldes da quilha e balizas (costelas) para serem utilizadas na seriação da produção. Assim, a geometria do casco podia ser armazenada, reutilizada sem necessidade de ser recriada (FARIN, 2002, p. 2) (Tradução nossa).

Estas técnicas foram aperfeiçoadas pelos venezianos a partir do século 16. A complicada forma das régua nervuradas (Figura 41) objetivavam construir arcos tangentes que ajudavam os cascos a obter escoamento da água, formando diferentes zonas de pressão que ajudam os barcos a obter melhor *performance*.

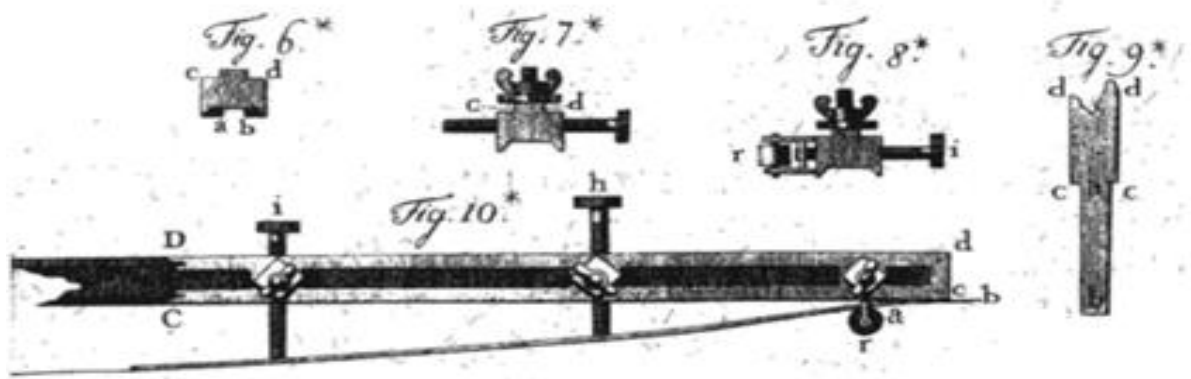


Figura 41 Régua Flexível do sec. VIII
 Fonte: (FARIN, 2002, p. 3)

Armazenar um projeto composto de várias curvas traçadas manualmente sempre foi um problema. Logo, os algoritmos numéricos mostraram uma vantagem sobre os processos manuais. As fórmulas matemáticas não deixam margem para interpretações individuais dos desenhos ou dos números armazenados em complicadas tabelas (plano de linhas).

Na década de 1950, os algoritmos foram amplamente adotados por empresas de aeronaves norte-americanas. Em 1959, a Citroën, fábrica automobilística francesa, contrata o jovem matemático Paul de Faget de Castejau para resolver os problemas das curvas orgânicas das carrocerias. Castejau desenvolve e implementa o algoritmo que aparece publicado em um artigo técnico de 1963 (FARIN, 2002, p. 4).

Remarque 1 - Le point L peut être extérieur à A
 des arcs
 Dans le c
 La constr
 elle est

Remarque

$$P = \lambda^3 A + 3\lambda^2 \mu I$$

$$\lambda = 1 - \mu$$

$$A (1 - 3\mu + 3\mu^2$$

$$+ B (3\mu - 6\mu^2$$

$$+ C (3\mu^2$$

$$+ D (1$$

$$P = 0\lambda - 3\mu \cdot AB$$

$\vec{A} = \vec{AB}$
 $\vec{B} = \vec{BC} - \vec{AB}$
 $\vec{C} = \vec{CD} - \vec{BC}$
 $\vec{D} = \vec{DE} - \vec{CD}$
 $\vec{E} = \vec{DE}$

$\vec{CD} = 2\vec{BC} + \vec{AB}$
 $\vec{DE} = 2\vec{CD} + \vec{BC}$

$(A \ B \ A \ C \cdot 2B + A)$
 $(D \cdot 3C + 3B \cdot A)$

par 4° degré: $(E \cdot 6) \cdot 6C - 4B + A$

Figura 42 Descrição do Algoritmo de Castejau
 Fonte: (FARIN, 2002, p. 4)

O algoritmo foi guardado em segredo ao longo dos anos em que Castejau permaneceu na Citroën. Na concorrente Renault, também francesa, o departamento de *design* iniciou pesquisa com representações computadorizadas com Pierre Bezier. As curvas de Bezier seguram outro caminho; eram obtidas através da intersecção de cilindros elípticos e, posteriormente, em fórmulas poligonais, com resultados similares ao de Castejau (FARIN, 2002, p. 6). O sistema de CAD/CAM da Renault era o UNISURF em que foram implementadas as curvas e superfícies de Bezier. Nascia então a *Sp Line*³⁸ que iria facilitar o desenho dos carros. Na GM americana seu desenvolvimento foi continuamente refinado

Situação de GM na época era semelhante ao dos fabricantes de automóveis franceses. Em 1959, a empresa tinha adquirido fresadoras controladas numericamente, mas faltava uma linguagem matemática para introduzir as formas complexas de seus carros aerodinâmicos com todas as suas aletas de cauda; era espacial e estilo voluptuoso. Carl de Boor, pesquisador da GM, concebeu um recursivo método para avaliar *B-splines* (JONATHON, 2014, p. 48).

A *B-splines*, agora um algoritmo, disseminou-se em aplicativos para melhorar os desenhos dos barcos e aviões e, depois, na Arquitetura e *Design*.

3.1.1 Spline na Indústria Naval

A indústria naval iniciou o desenho de curvas livres no plano de linhas de cascos de navios com pesos³⁹ em régulas de bambu ou plástico flexíveis.

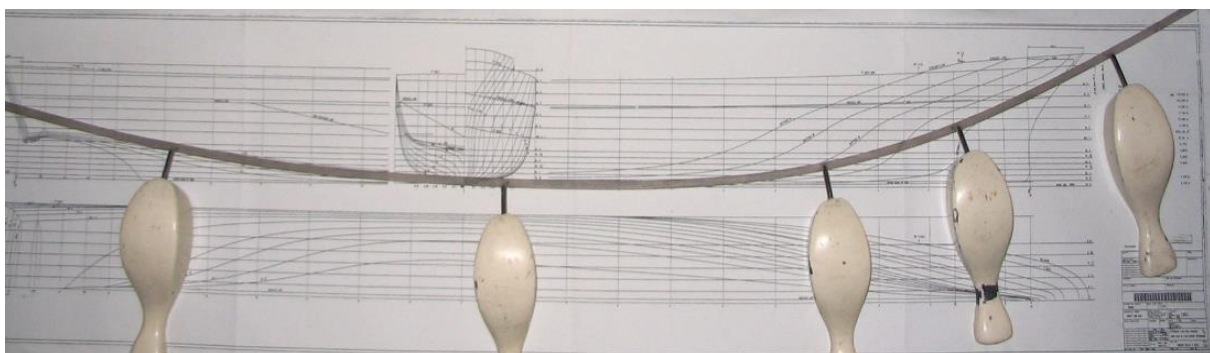


Figura 43 Spline com pesos, Engenharia Naval
Fonte: Tutorial MaxSurf -Bentley

³⁸ *Spline* significa uma curva suave definida por uma função numérica polinomial híbrida do inglês (*smooth line by an numeric function that is piecewise-defined by polynomial functions*).

³⁹ Os pesos eram chamados de patos (do inglês *ducks*) pelo seu formato alongado e ganho de ferro na ponta semelhante ao bico.

Os pesos eram dotados de pequenos ganchos que fixavam a fina régua sobre o papel e as balizas e linhas do alto eram traçadas para compor a representação do casco (plano de linhas). Com a popularização da curva de Bezier em algoritmos, os *ducks* foram substituídos por curvas *spline* nos sistemas CAD/CAM. O aplicativo Maxsurf tem uma malha que suaviza ainda mais o efeito das *splines* no ambiente de desenho.

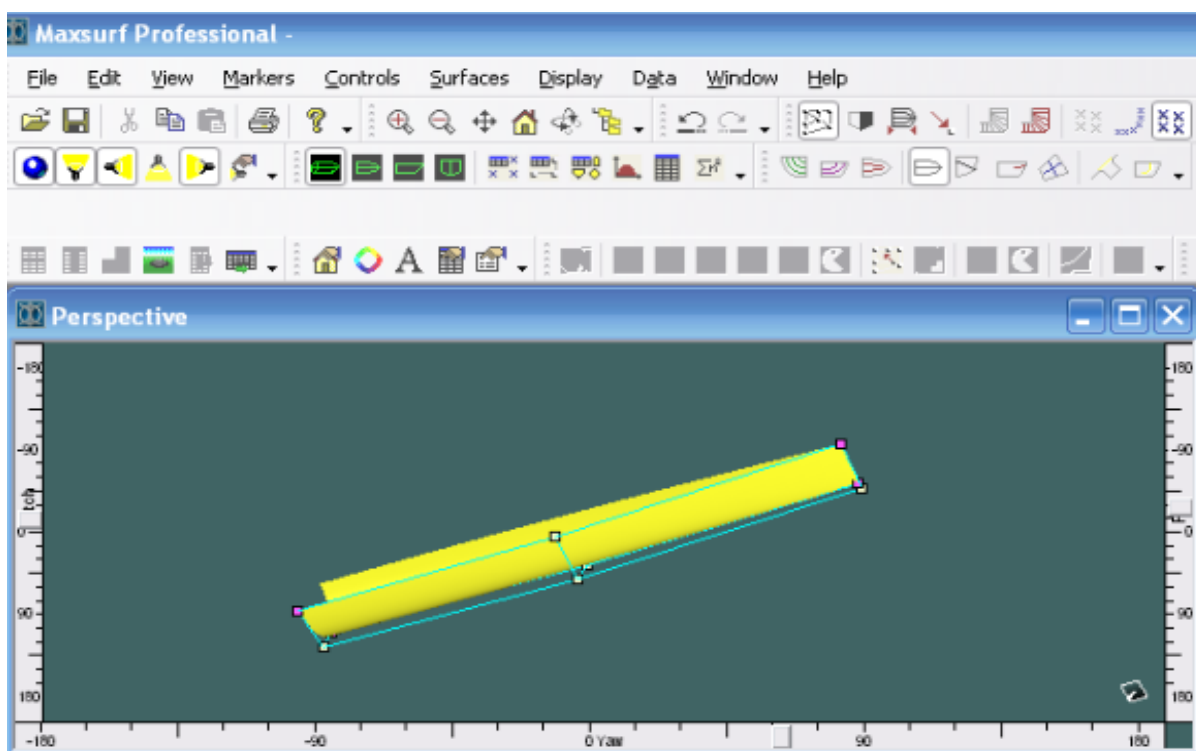


Figura 44 Casco do Veleiro Moth
Fonte: Elaboração Própria – 2013

O velejador Carlos Fernando Sheibler fez uma adaptação do desenho do veleiro Moth⁴⁰ (Mariposa). O veleiro tem novas inovações tecnológicas como o hidrofólio que permite o casco levantar da água com o uso de uma “asa” submersa. O veleiro tem o projeto disseminado pelas redes e pode ser construído em uma garagem.

Segundo informações do próprio Sheibler, o casco deveria ser feito com compósitos para ser leve e resistente. O modelo do casco foi desenhado no ambiente do

⁴⁰ Pequeno veleiro tradicional de regata, ficou popular por ser equipado com hidrofólio, tornando-se classe internacional desde 1971 < <http://moth-sailing.org>>.

aplicativo, obedecendo as regras internacionais para veleiros que têm casco de alto desempenho e tem fibra de carbono em sua composição (Figura 45)

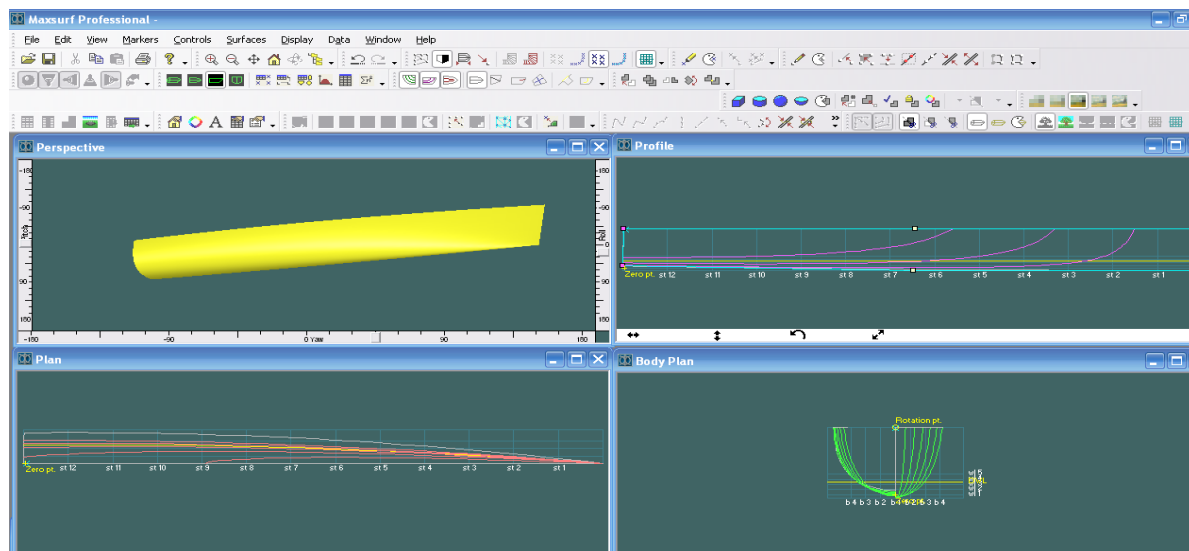


Figura 45 Modelagem 3D Moth
Fonte: Elaboração Própria, 2013

Os aplicativos náuticos interagem com os outros sistemas CAD/CAM e permitem desenhar as tabelas do plano de linhas com os principais pontos do desenho do casco. Simulações hidrostáticas são feitas e a linha d'água é marcada sobre as visas na modelagem.

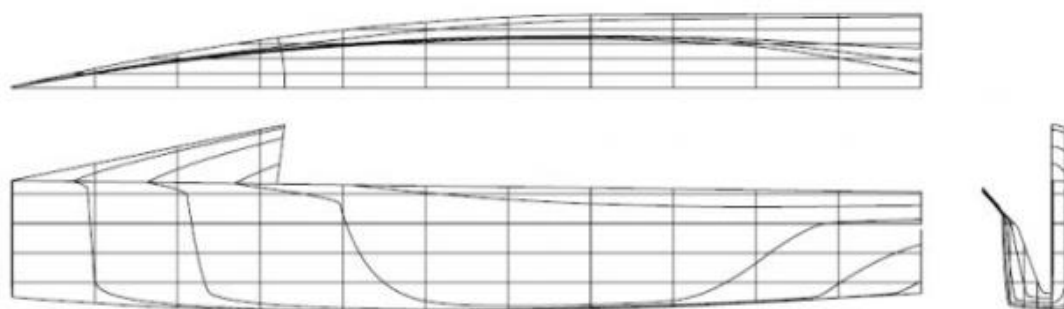


Figura 46 Desenho 2D Plano de Linhas do Moth
Fonte: Elaboração Própria, 2013

A experiência de modelar em aplicativos náuticos específicos é bem enriquecedora, porém o conhecimento dos compósitos do modelo só ficou atrelado ao

plano digital. Colocar e viabilizar a ideia necessita de conhecimentos que despertaram alguns dos experimentos desta pesquisa.

3.1.2 *Curvas Suaves na Indústria Aeroespacial*

As curvaturas das carenagens, asas e estabilizadores dos aviões e foguetes são detalhes críticos na indústria aeroespacial. As leis da física (aerodinâmica) exigem *designers* para pontuar curvas suaves e precisas. As peças são fabricadas com tolerâncias e especificações rígidas. Naturalmente, engenheiros aeronáuticos foram os primeiros a adaptarem técnicas navais há muito estabelecidas para as formas das asas dos aviões e fuselagens.

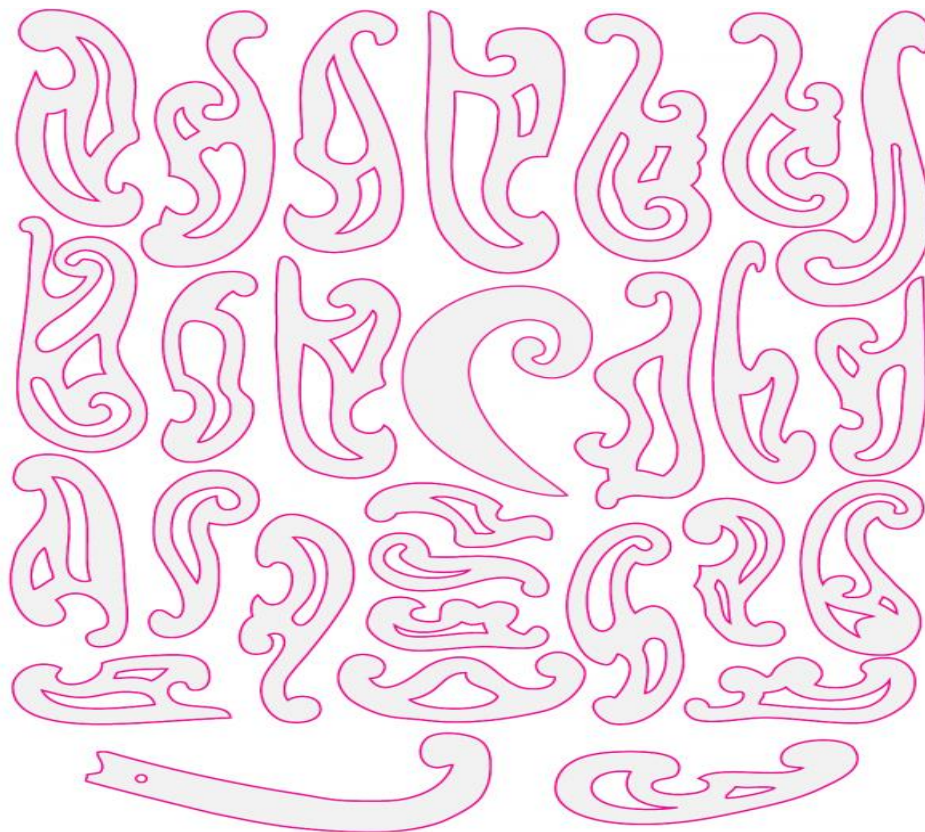


Figura 47 Jogo de curvas francesas
Fonte: (JONATHON, 2014).

As curvas francesas para desenhos geométricos podem interpolar pontos, mantendo a tangência e obtendo curvas suaves. Durante a Segunda Guerra Mundial, os desenhos de curvas elípticas para as asas dos aviões em escala 1:1 eram feitos em hangares. Roy

Liming, engenheiro aeroespacial, durante a Segunda Guerra Mundial, trabalhou para a aviação norte-americana que fabricava aviões de combate, como o Mustang (Figura 48).

As asas elípticas (Mustang, Curtiss XP-40) e semielípticas (*Supermarine Spitfire*) foram desenvolvidas em túneis de vento para as necessidades dos caças de combate dos aliados, fazendo a diferença no dia “D”, na Normandia, derrotando a poderosa força aérea nazista (Luftawffe).

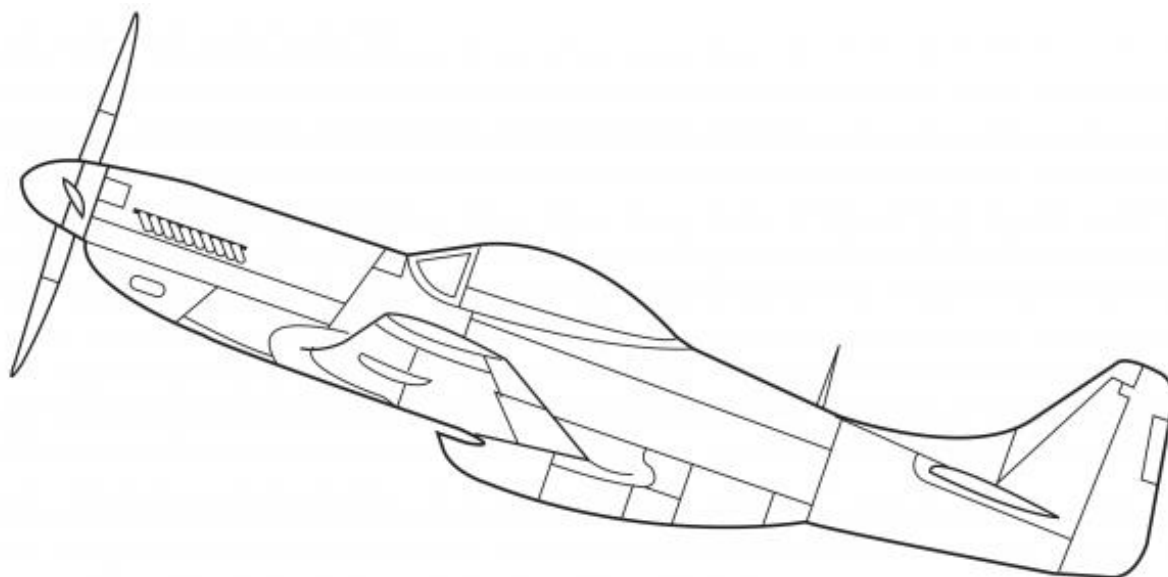


Figura 48 P51 Mustang
Fonte: NASA

O termo em inglês *lofting* é dado à representação aeronáutica das curvas suaves porque havia muita espionagem e segredos em relação à metodologia de desenho que se tornou responsabilidade estratégica. Os desenhos eram feitos em escala natural em hangares fechados para aumentar a precisão e evitar a espionagem e devido à semelhança das curvas do desenho com a cobertura dos hangares. O termo, ainda hoje, é utilizado na modelagem 3D de superfícies.

Parte da terminologia e técnicas do *lofting* foram herdadas da construção naval, mas devido às exigências em relação à precisão, precisaram ser modificadas para metodologias mais sofisticadas. Além disso, desenhos poderiam ser roubados ou fotografados e, em papel, eram impossíveis de serem criptografados.



Figura 51: Asa do Concorde

Fonte: K.G. Clark and Arthur Gibson, Paradise Press

Havia uma pressão para converter o desenho manual feito pela geométrica intersecção de sólidos cônicos e elípticos para tabelas numéricas semelhantes ao plano de linhas da engenharia naval. Assim, a geometria de cada avião poderia ser armazenada numericamente em tabelas ao invés de modelos físicos vulneráveis. Números ofereciam eficiência, precisão, reprodutibilidade e segurança.

O desenvolvimento da forma das asas e dos estabilizadores dos aviões continuaram no pós-guerra com a Guerra Fria. As forças de escoamento do ar em grandes velocidades faziam os estabilizadores (*aileron*) vibrarem, impedindo os aviões de ultrapassarem a barreira do som. Em 1947, o americano Chuck Yeager, no seu Bell X-1, ultrapassou a barreira do som. O desenho do avião supersônico difere dos aviões subsônicos devido à compressão do ar em altas velocidades. As vibrações eram sentidas não só asa, mas também em toda fuselagem, comprometendo a estrutura do avião. O desenho foi aperfeiçoado para diminuir as forças de arrasto do aparelho com o ar.



Figura 50 Curtiss XP-40 no túnel de vento
Fonte: NASA (1939).

O que permitiu a evolução dos desenhos foi a modelagem numérica Fluidodinâmica Computacional, em inglês, *Computational Fluid Dynamics* (CFD), em grandes computadores. Hoje, com a melhoria da eficiência e capacidade de processamento dos computadores, a modelagem por partículas ou Método de Elementos Finitos consegue soluções aproximadas de equações diferenciais ligadas ao escoamento e deslocamento transversal.

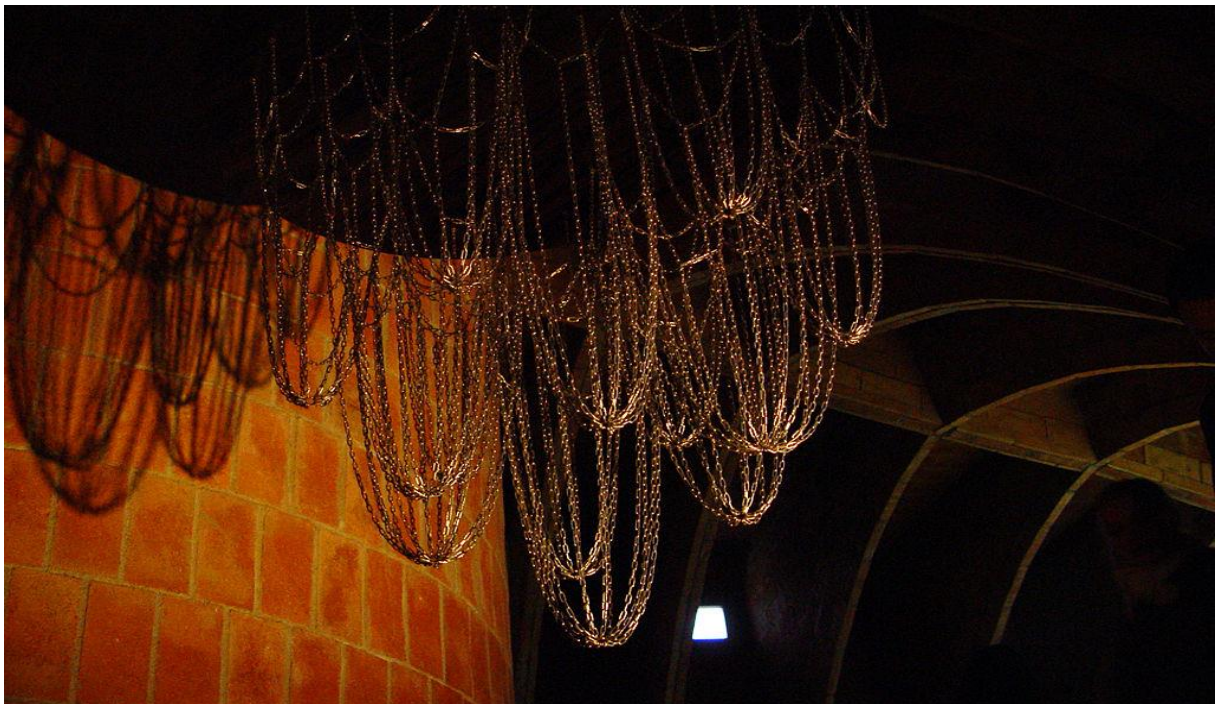
3.2 Curvas Suaves na Arquitetura

A busca por curvas suaves na Arquitetura trilhou métodos intuitivos de representação dinâmicos, utilizando a força gravitacional na busca de curvas e formas eficientes tectonicamente. Algumas metodologias se baseavam em modelos dinâmicos e experimentais. Serão pontuados os mestres Galdi, Isler, Candela e Otto, revelando a experiência de arquitetos, engenheiros e artistas na busca de materiais e dispositivos que

facilitassem o processo de desenho a partir de Modelos Dinâmicos de Representação (MDR), visando uma tectônica eficiente.

3.2 .1 Gaudi (1952-1926)

O arquiteto catalão utilizou diversos dispositivos para os delicados detalhes de suas obras. Os mecanismos eram feitos com pesos (sacos de areia) ligados a cabos e correntes, objetivando escoar os esforços de suas abóbodas, arcos hiperbólicos, catenárias e até de seus complicados pilares. O processo, além das correntes penduradas, utilizava as projeções das sombras em múltiplas combinações que compunham sua tectônica singular e experimental.



*Figura 51 Catenárias - Casa Milà – Barcelona
Fonte: Jabí (2013, p. 8).*

Os pesos eram adicionados ao longo da corrente, depois a força da gravidade atuava nos elos, acomodando a curva catenária. Após a revisão de geometria, o processo era transposto e invertido. O arco, assim concebido, obrigava os esforços a caminhos tangenciais, oferecendo estabilidade. Mitchel (1975) discorre sobre o processo de Gaudí como um sistema generativo de formas ainda analógico e mecânico.

A utilização dos movimentos dinâmicos de cabos em roldanas e colunas deslizantes sob ação da gravidade compunham um MDR que, através das sombras, eram estabilizados e invertidos. O modelo permitia a composição das geometrias gaudianas (catenárias, hiperboloides, paraboloides) para suas obras (Figura 51).

3.2 .2 Félix Candela (1910-1997)

Arquiteto espanhol formado pela Escola Superior de Madrid em 1935. Candela se opunha ao traço autoral dos arquitetos de sua época, direcionando-se para o cálculo e os materiais. Antes de fugir para o México, foi prisioneiro político na Guerra Civil Espanhola e, autodidata, dedicou-se aos estudos de Engenharia Civil e de cálculo matemático. Teve seu primeiro manuscrito *Considerations Concerning the Design of Reinforced Concret Structure (1951)* recusado pelo Instituto Americano de Concreto.

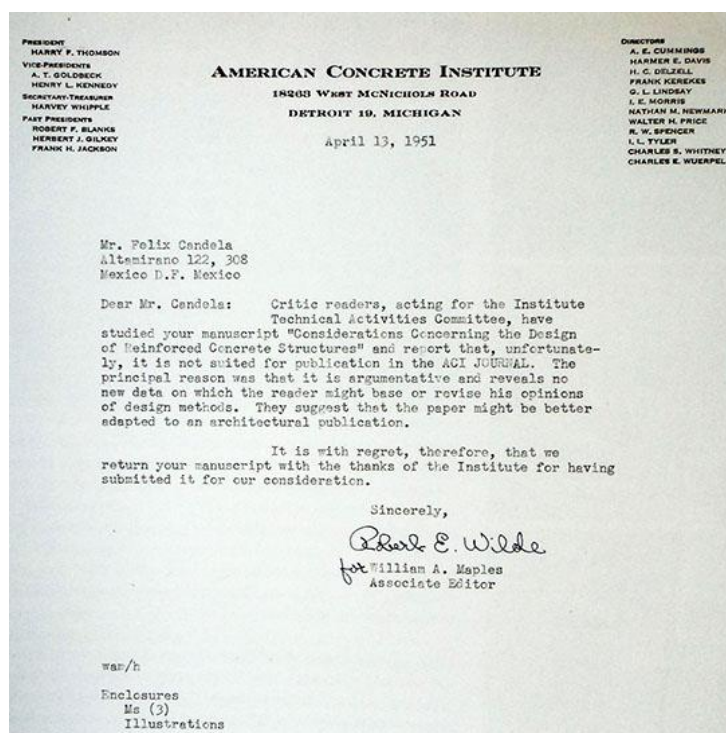


Figura 52 Carta recusado o artigo de Candela
Fonte: (GARLOCK, 2008, p. 70)

A concepção “artística” de membranas de dupla curvatura em finas lâminas de concreto armado (2cm a 5cm), vencendo grandes vãos, é uma forte característica de suas obras. Nenhuma norma brasileira permitiria obras de Candela com essas espessuras.

Graças às suas otimizações matemáticas, as espessuras mínimas eram alcançadas com processos estatísticos de distribuição de tensão. Seu processo divergia dos procedimentos analíticos dos engenheiros de sua época.

O interesse de Candela sobre as cascas começou no sexto ano da universidade com a influência das revistas de engenharia e do engenheiro e professor Eduardo Torroja Miret, que construiu formas em casca com concreto em 1930.

O pensamento estrutural de Candela se aproxima do filósofo José Ortega y Gasset (1883-1955) de sua pedagogia do “aprendizado”, onde todas as coisas estão em permanente processo de mudança em deslocamento ao “futuro”.

Em 1934, Candela visitou Ortega y Gasset com seu colega Alejandro Herrero. Ortega deu-lhes uma “lição espetacular de Arquitetura Popular” O primeiro grande artigo de Candela “Towards a New Philosophy of Structures” continha uma série de postulados de Ortega, mas ainda mais importante, as ideias do jovem projetista eram bem próximas das expressas em 1925 por Ortega no seu famoso ensaio A Desumanização da Arte⁴¹ (GARLOCK, 2008, p. 54) (Tradução nossa).

Sua adequação não se estendia às forças de tensão, mas aos materiais, ao peso e à economia que conferiam esbelteza e elegância às formas geométricas. Esses argumentos caíam como uma luva para a industrialização mexicana que se desenvolveu no pós-guerra. Não criou modelos reduzidos; sua segurança matemática permitiu desenvolver seu trabalho no canteiro de obras em escala natural e ao ar livre.

Sua intuição associada ao raciocínio matemático permitiu fugir das etapas de representação, desenho técnico.

Hábil desenhista e pintor, suas pranchas eram aquareladas e bem traçadas. A representação gráfica dos desenhos de Candela tem sua marca econômica e precisa em pranchas limpas e equilibradas.

⁴¹ O ensaio a Desumanização da Arte (Cortez, 120 pp., 2011), Ortega trabalha a ontologia do objeto estético sob a fenomenologia com negação ao passado.

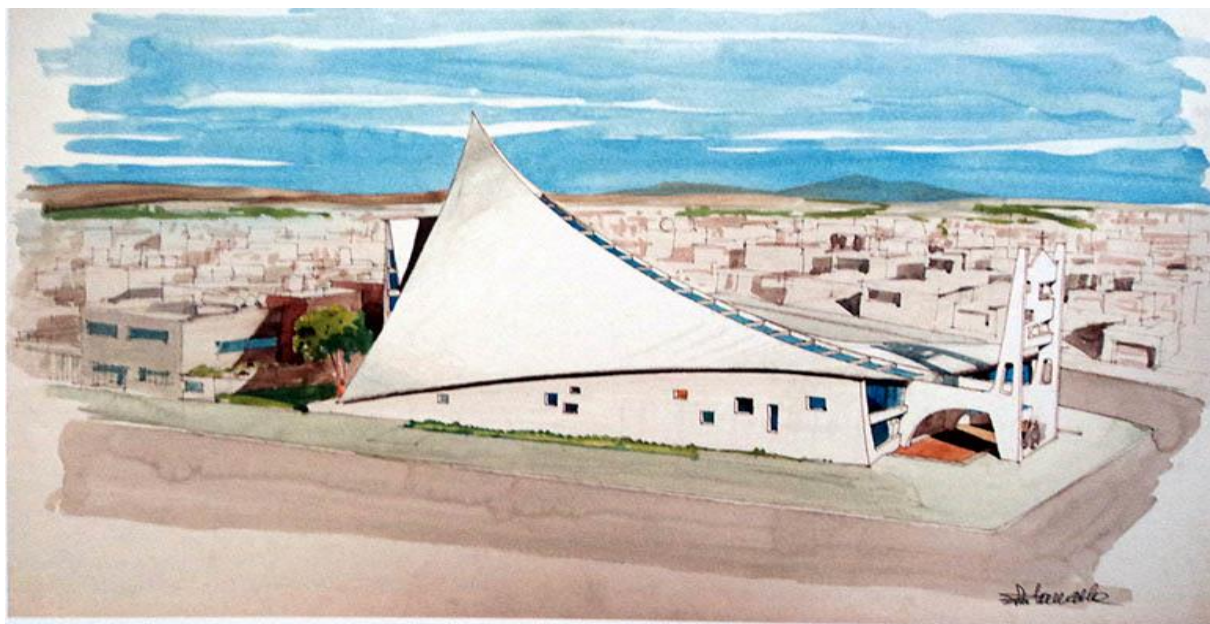


Figura 53 Igreja (aquarela)
 Fonte: (ALANÍS, 2010, p. 16)

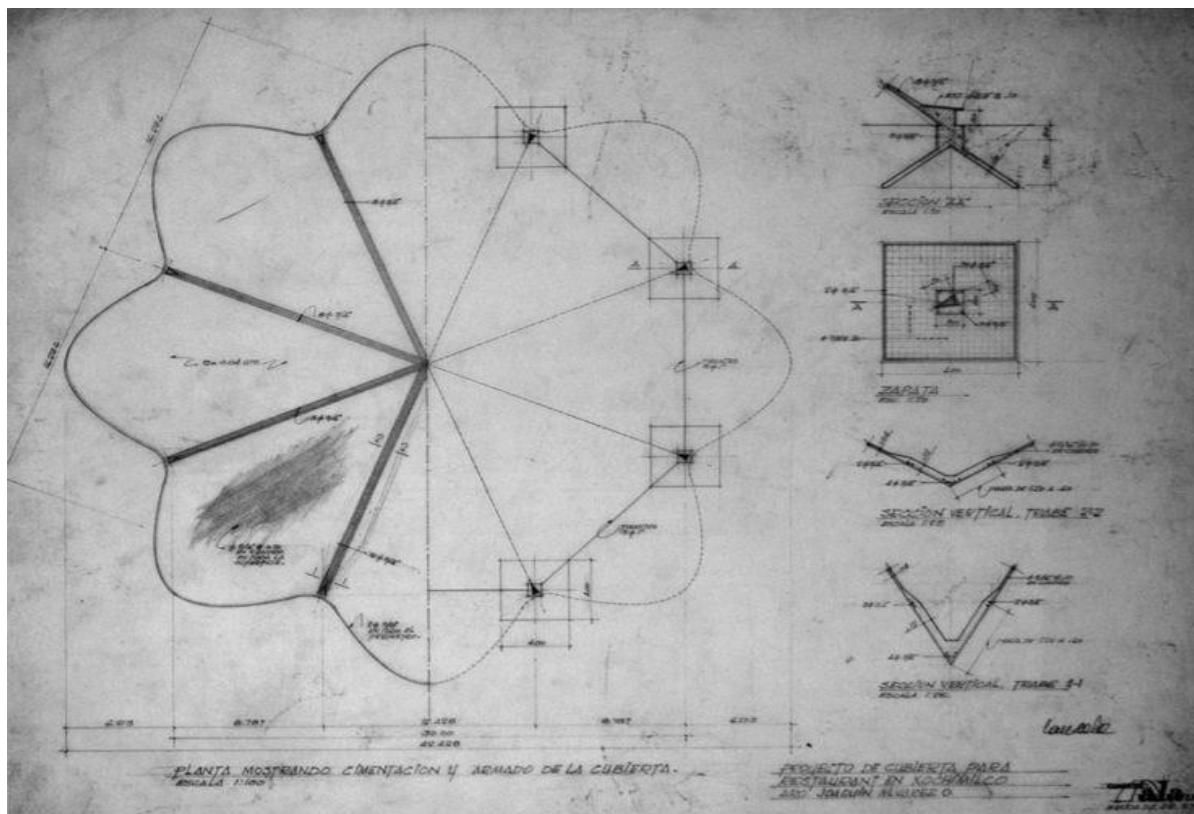


Figura 54 Desenho Técnico de Cadela
 Fonte: Pinterest

Depois de trabalhar intensamente no México, imigrou para os Estados Unidos onde lecionou e prestou consultorias em Chicago. O sistema construtivo americano era completamente diferente do seu processo criativo que desenvolvera no México. Trabalhou em colaboração com Calatrava em Valência, na Espanha.

Hoje, os aplicativos digitais permitem que as obras de Candela possam ser revisitadas. Os *plugins* Grasshopper e Karamba,⁴² desenvolvido pela GeometryGym⁴³, é uma possibilidade. A elegância de seus paraboloides de grande envergadura combina com o desenho paramétrico e permite rotacionar, replicar e compor suas estruturas. A pureza de suas formas encontra-se com a elegância dos algoritmos.

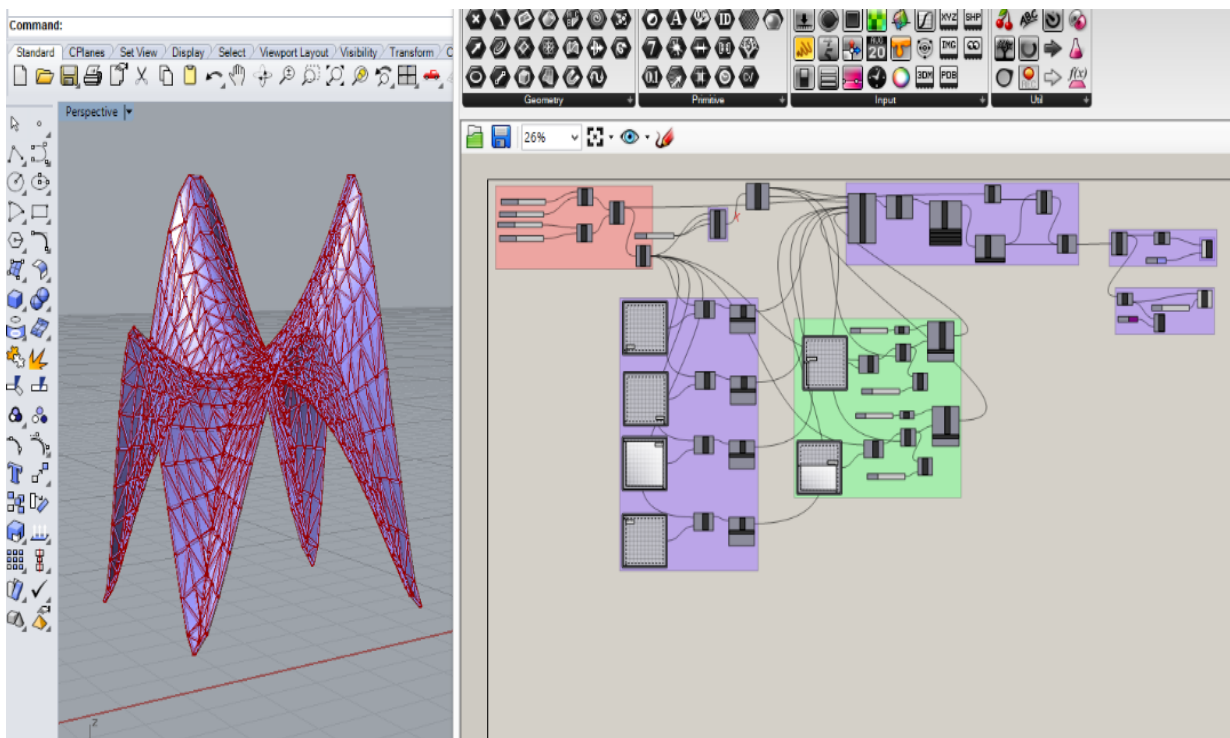


Figura 55 Casca de Candela modelada no plugin Karamba
Fonte: Elaboração Própria

⁴² O Karamba 3 D é um aplicativo de análise estrutural, gratuito para estudantes, voltado para o *plugin* Grasshopper do modelador 3D Rhinoceros. Fácil de utilizar, o Karamba combina modelos geométricos parametrizados, cálculo de elementos finitos e algoritmos de otimização generativos nas primeiras fases de projeto (www.karamba3d.com).

⁴³ GeometryGym oferece aplicativos e tutoriais para EAC. Os programas visam a melhoria da produtividade e interoperabilidade entre os aplicativos mais populares de BIM (www.geometrygym.com/).

3.2 .3 Heinz Isler (1926, 2009)

Isler, engenheiro estrutural suíço, estudou no Instituto Federal de Tecnologia em Zurique. Suas enormes cascas eram estruturadas por método próprio intuitivo sem o auxílio dos métodos modernos computadorizados, que não estavam à sua disposição para obter suficiente autoportante para vencer seus grandes vãos. A ideia de trabalhar com os tecidos pendurados surgiu após observar a forma das grossas mantas de juta que eram utilizadas, molhadas para a cura do concreto (CHILTON, 2000, p. 35). Isler era colecionador de conchas marinhas e grande observador, explorando a técnica dos panos ao limite. Congela panos molhados na neve e observa as dobras e suas formas suaves (Figura 56).



Figura 56 Tenda Congelada
Fonte: (BILLINGTON et. al., 2015)

Isler elaborava pequenos modelos experimentais com a utilização de tecidos impregnados com látex e gesso. O emplastro era submetido às forças e tensões dinâmicas até atingir o equilíbrio. Com a solidificação, Isler extraía as coordenadas x , y e z que eram transpostas para suas grandes formas curvas que recebiam o concreto e a armadura compondo delgadas cascas.

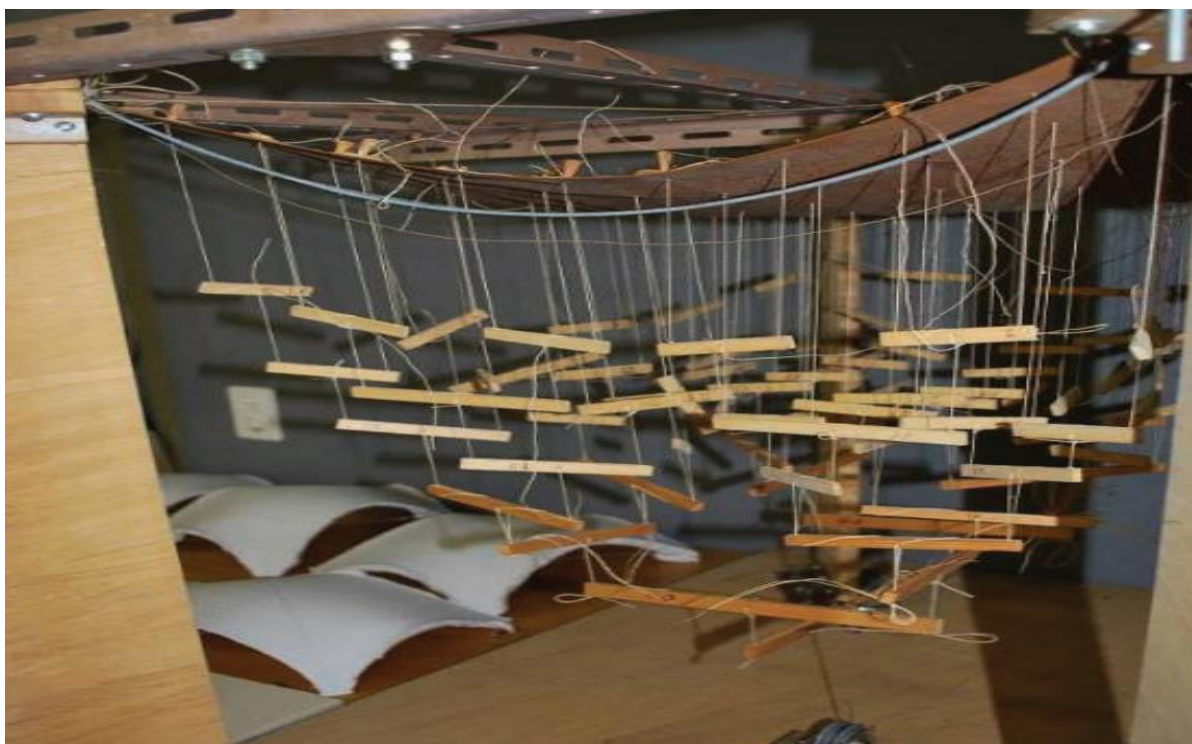
A metodologia foi transferida para tecidos elásticos com gesso o que facilitou a composição e a união de diferentes cascas, conferindo suavidade entre as transições. Seu estilo tem a característica formal de rasgos e de furos.

Antes de colocar o gesso no gabarito, uma rede de linhas era pendurada na superfície através de furos. Uma caixa de madeira com réguas ajudava a medir as cascas e as coordenadas dos pontos. Pequenos cabos e uma estrutura de aço seguravam o tecido suspenso por pontos fixos. Os cabos transpassavam o tecido e pequenas madeiras ajudavam a unir as forças para um único cabo que tracionava o tecido com o uso de uma roldana. O equilíbrio era atingido, o gesso cristalizava a casca e as linhas eram minuciosamente medidas. As densidades da malha de linhas e furos variavam com a composição das cascas e as forças se somavam à medida que se afastavam do tecido.

O tecido era retirado e os pontos anotados, com outro aparelho medindo os cabos. Todas as medições eram feitas com rigorosa precisão. Seu estúdio era composto por diversos modelos dinâmicos e várias cascas eram suspensas formando um conjunto com pequenas mudanças, até Isler encontrar a forma adequada para determinado projeto. Ao fundo, (Figura 58), as cascas eram enumeradas e dispostas na sequência em que eram produzidas.



*Figura 57 Modelo em látex e gesso da fábrica Sicli AS
Fonte: (CHILTON 2012).*



*Figura 58 Modelo Mecânico - Panos suspensos tracionados
Fonte: (CHILTON, 2012).*

Após o gesso secar e enrijecer, o tecido era retirado da engenhoca. Os furos marcados a lápis e um sistema preciso de marcações eram criados para retirar as coordenadas da deformação do tecido.

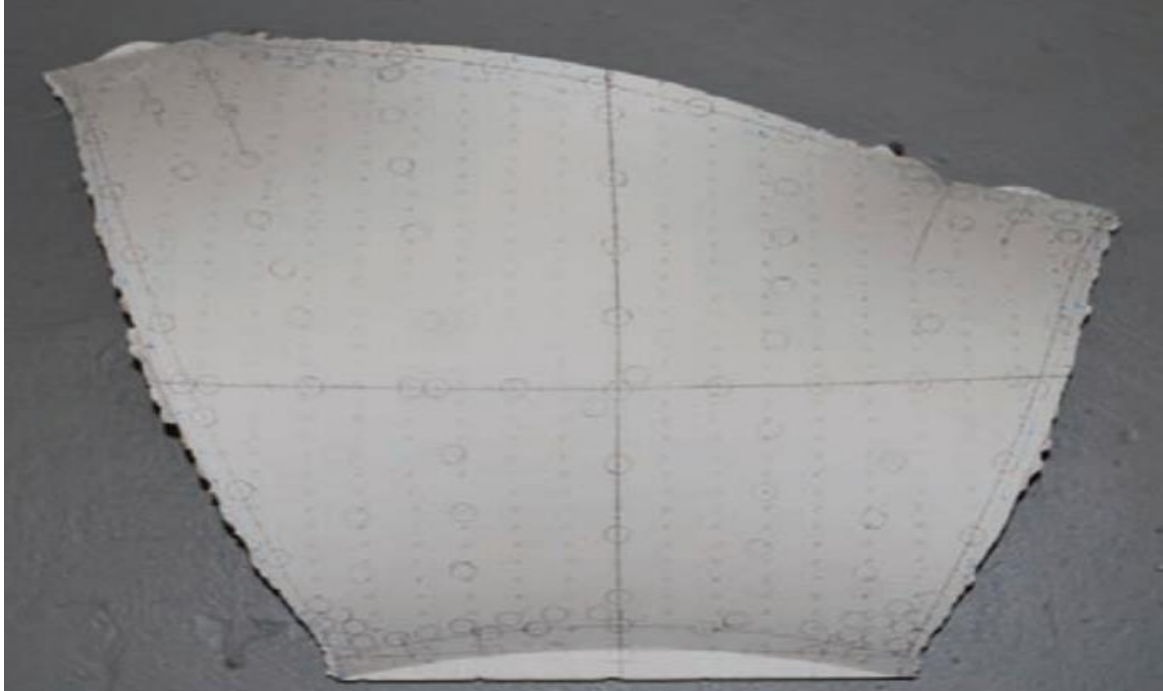


Figura 59 Marcações no tecido suspenso
Fonte: Fonte: (CHILTON, 2012)

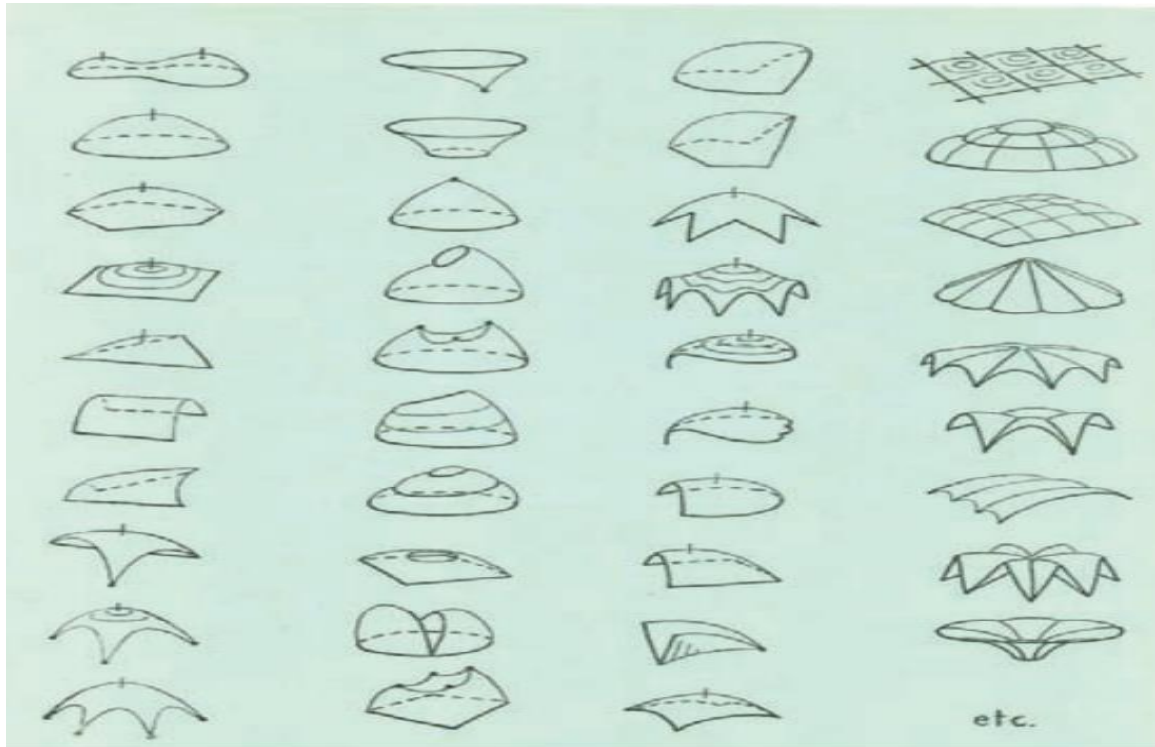


Figura 60 Novas Cascas
Fonte: (ISLER, 1961, p. 5)

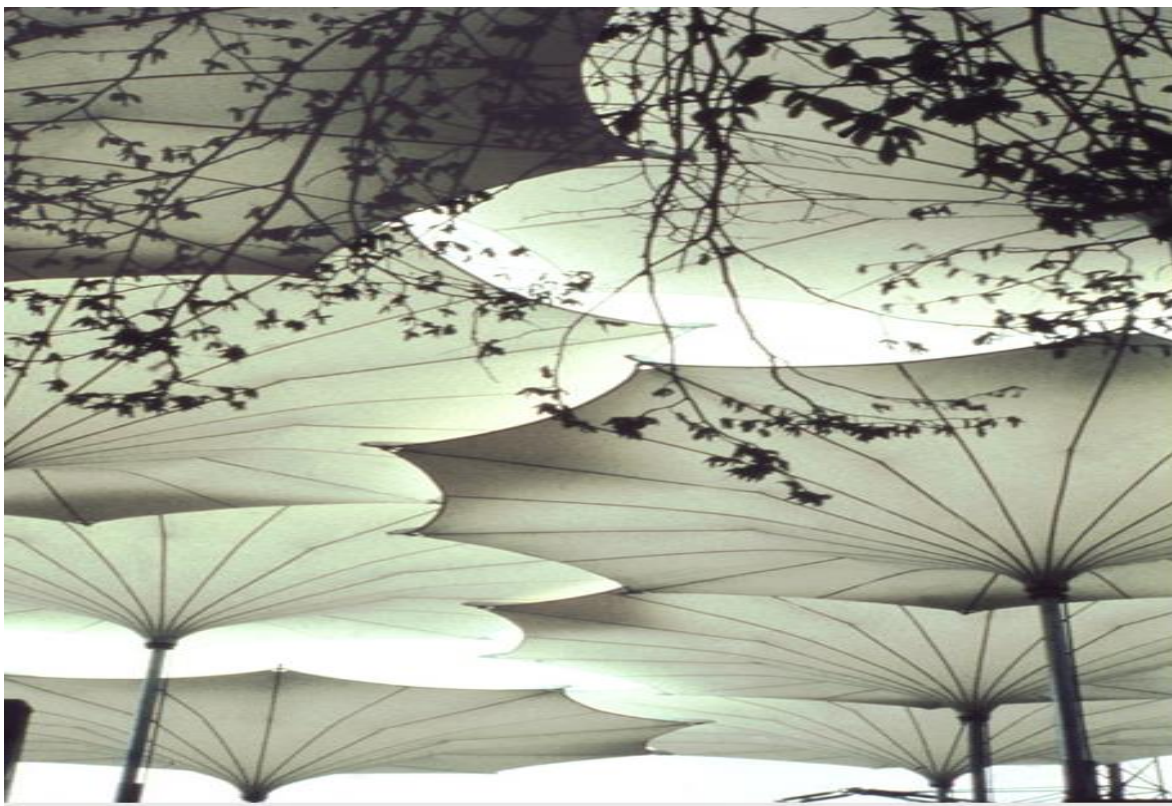
A metodologia de Isler evoluiu para três principais métodos que permitiram construir e compor várias cascas com MDR: a tração mecânica, os tecidos emborrachados e o uso de epóxi para a cristalização das cascas. Deixou duas principais publicações de sua pesquisa e uma vasta quantidade de obras de fabricas e ginásios de esportes.

3.2 .4 Frei Otto (1925-2015)

Frei Paul Otto foi um arquiteto alemão formado pela Universidade Técnica de Berlim, em 1950. É conhecido por suas estruturas tensionadas leves. Recebeu o Prêmio

Pritzker⁴⁴ após seu falecimento — a homenagem póstuma e tardia não apaga o valor da sua grande obra e seus métodos dinâmicos de representação.

Foi piloto de planador na sua juventude, fato que influenciou sua pesquisa acerca das estruturas leves e resistentes. A habilidade de pilotar aeronaves o levou para a guerra como piloto da poderosa Luftvaff nazista. Foi capturado em 1945 e mantido prisioneiro em um campo de guerra, na França. No campo, trabalhou como arquiteto, improvisou obras de estruturas várias com o mínimo de materiais. Foi costurando cobertores e reaproveitando materiais no campo de prisioneiros que sua pesquisa com estruturas leves e tencionadas iniciou.



*Figura 61 Cenário - Show Pink Floyd, 1977
Fonte: DeZeen Magazine*

Como Isler, era grande observador das forças naturais e admirava a hidrodinâmica dos peixes, das estruturas microcelulares e dos voos dos pássaros que o ajudavam a aprimorar os desenhos de seus planadores. Seu estilo biomorfo e orgânico

⁴⁴ Criado em 1979 pela Fundação Hyatt, gerida pela família Pritzker, é equivalente na arquitetura à premiação Nobel nas ciências ou o Oscar no cinema.

vem de seus métodos dinâmicos de ensaio e representação. Sua preocupação com a forma aerodinâmica levou aos ensaios em túnel de vento e a utilizar métodos computadorizados, com representações dinâmicas.

Otto fez vários experimentos com a auto-organização, visando produzir sistemas mais eficientes; com lã teceu um sistema de caminhos geométricos, ligando todos os pontos em um círculo. Foi dada alguma folga aos fios depois de mergulhados na água, sacudindo-os e, em seguida, removendo o excesso. A lã molhada começou a juntar e a fundir-se, eliminando alguns dos caminhos que existiam anteriormente. O comprimento total de todos os caminhos foi mais curto na etapa final do experimento. Ao contrário da intuição, um sistema geométrico ortogonal não é o sistema mais eficiente.

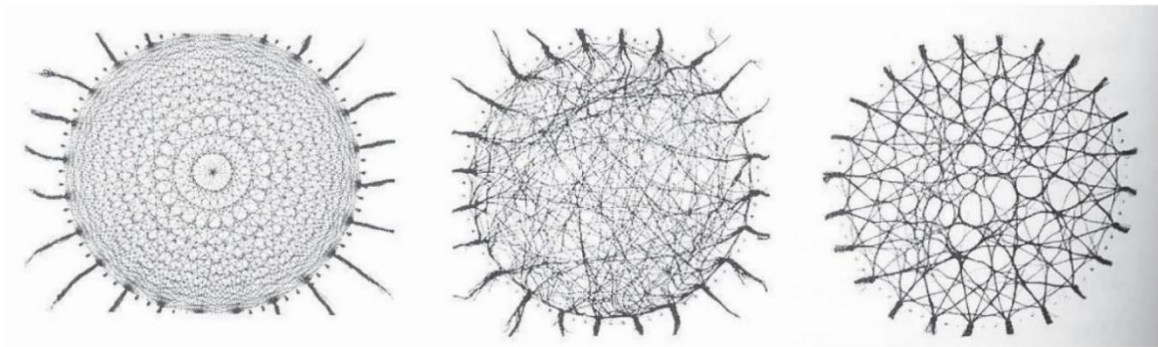
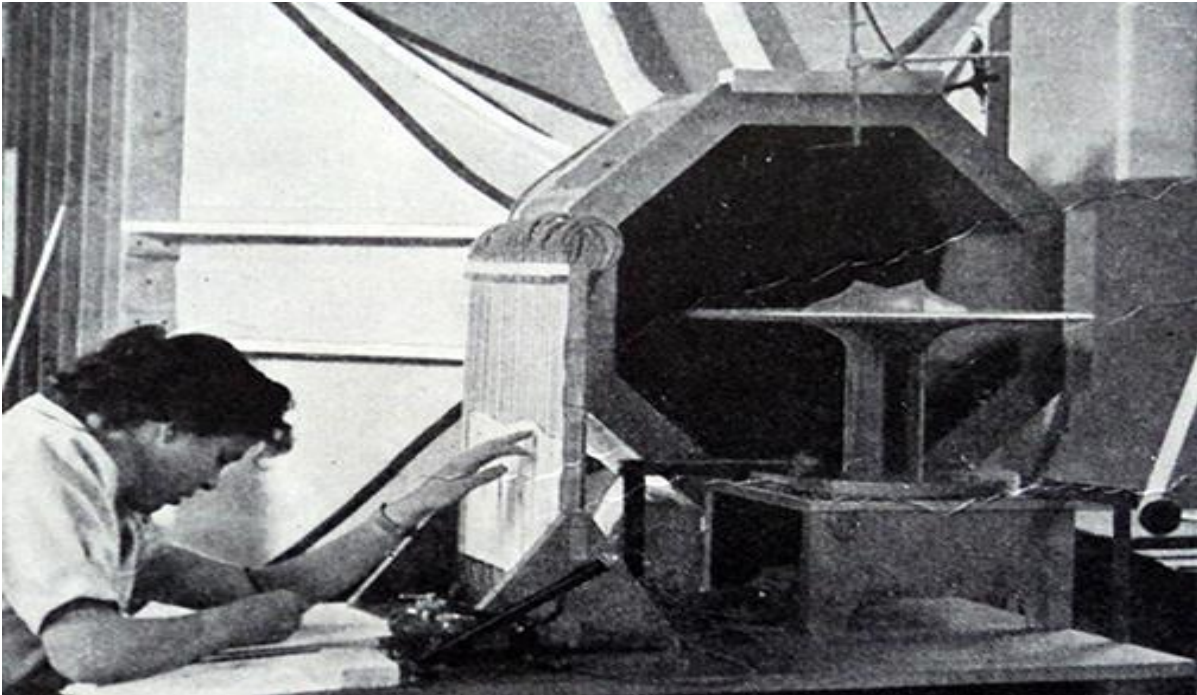


Figura 62 Experimento com Lã Molhada
Fonte: DeZeen Magazine



*Figura 63 Modelo de Membrana no Túnel de Vento
Fonte: (OTTO,1958, p. 110).*

Os experimentos com membranas e modelos ensaiados no túnel de vento geravam representações gráficas detalhadas das distribuições das tensões, depois sendo convertidos em grandes tabelas (Figura 63).

Em 1961, iniciou o desenvolvimento das membranas com superfícies mínimas geradas pelo equilíbrio dinâmico das bolhas de sabão. Com arames, as bolhas eram formadas e, depois de atingir seu equilíbrio, eram fotografadas e estudadas.

A estabilidade das superfícies geradas pela película de sabão produzia formas estáveis, também possibilitando composições formais a compor estruturas leves e delgadas.

Otto estudou vários métodos compositivos de membranas tênses, fez instrumentos especiais para furar, puxar e esticar a película oleosa. Seus experimentos com modelos dinâmicos geraram uma enorme quantidade de membranas que compõem sua premiada obra.

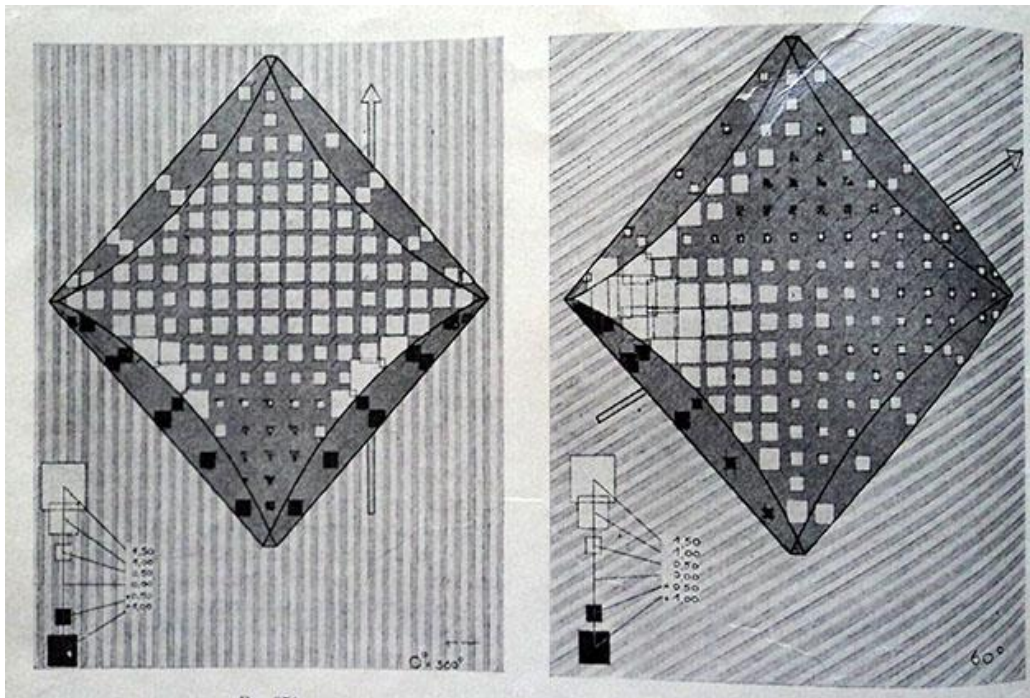


Figura 64 Distribuição das Tensões na Membrana
 Fonte: (OTTO, 1958, p. 110)

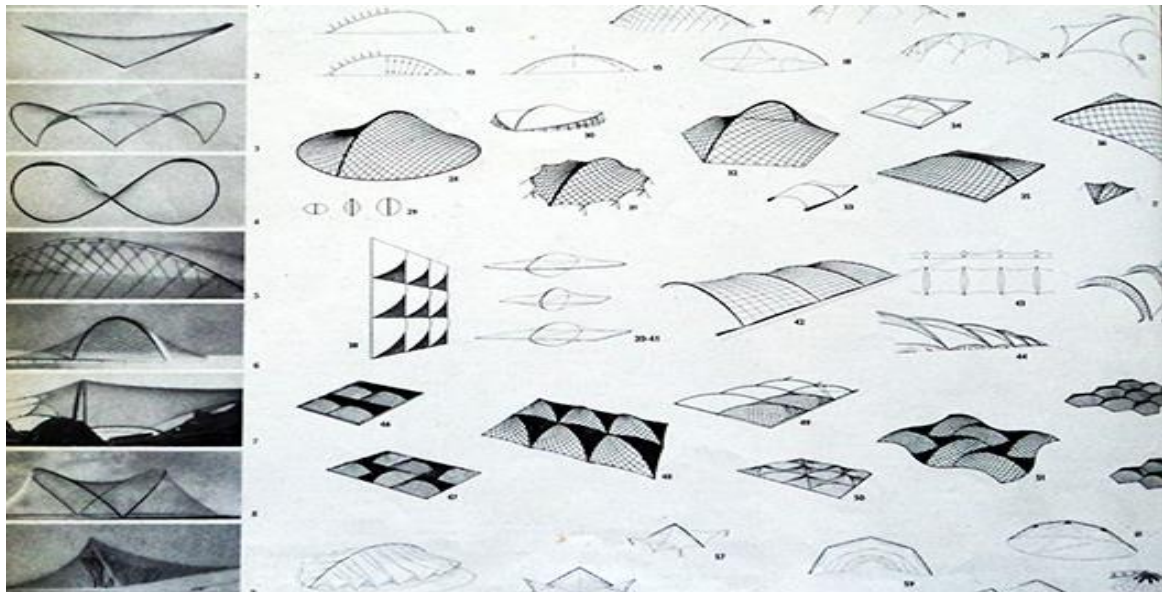


Figura 65 Membranas Tensionadas
 Fonte: (ROLAND, 1973)

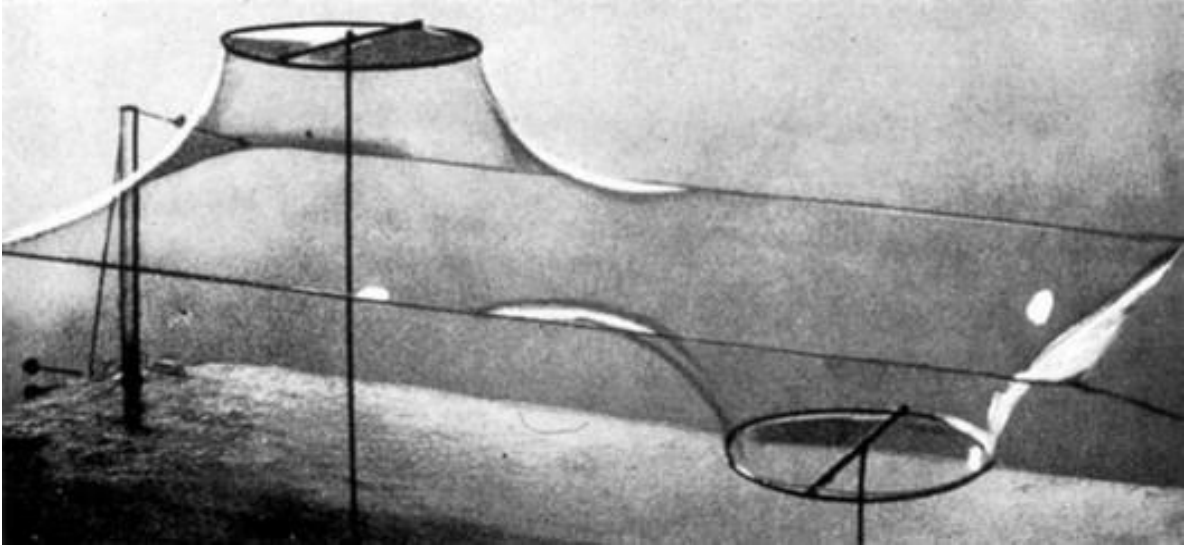


Figura 66 Modelo com Bolha de Sabão
Fonte: Pinterest

CAPÍTULO - 4 SISTEMAS DINÂMICOS DE REPRESENTAÇÃO

As transformações foram rápidas em algumas áreas que sofreram maior pressão para se dinamizar em função das necessidades da guerra. As metodologias de projeto da Engenharia naval e aeroespacial chegaram até a Arquitetura e o *Design*, e a eficiência e a produtividade foram alteradas, estabelecendo interfaces com a sustentabilidade.

As forças físicas, antes invisíveis, agora passam a ser simuladas e representadas. Os objetos e as obras são obrigados a responderem às mudanças das forças da natureza e a adaptarem-se. Os sistemas digitais que antes eram processos passam a fazer parte da obra e dos objetos.

4.1 O Atrator Estranho de Shaw

Como se viu na introdução desta pesquisa, o Coletivo Atrator Estranho de Shaw foi um dos primeiros a reunir cientistas de diversas áreas com a utilização do MDR. A simulação foi improvisada com o uso de uma máquina numérica analógica, associada a equipamentos de vídeo e projetores. Em pouco tempo, a representação da simulação saiu das universidades para as grandes corporações, mas ainda depende de mão de obra

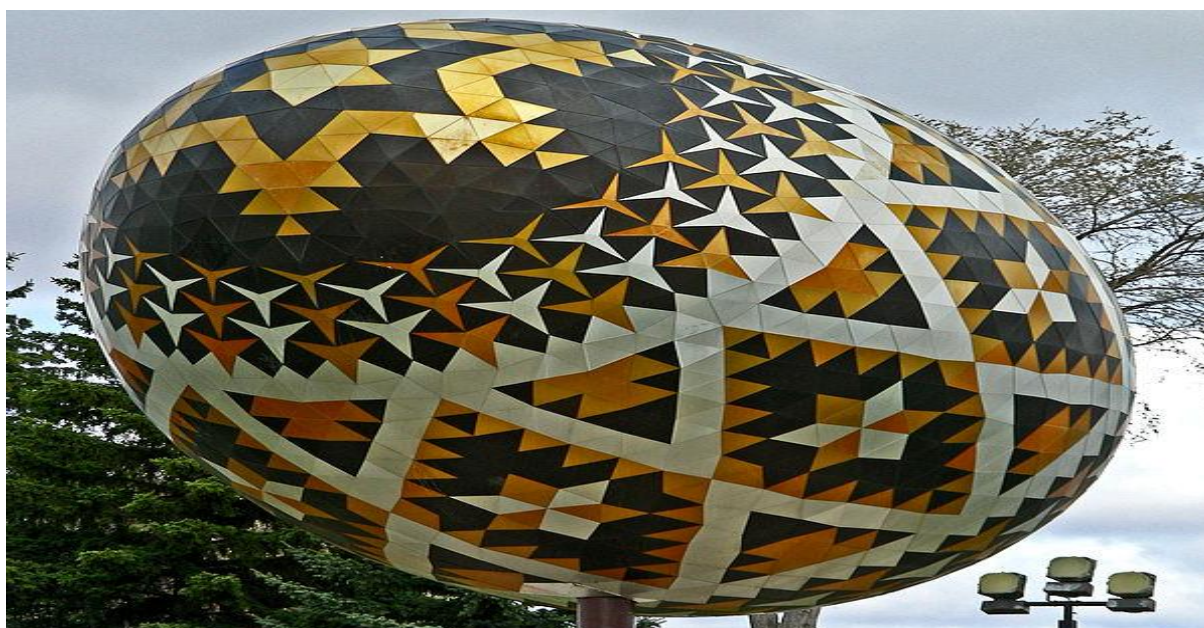


Figura 67 Vegreville Egg
Fonte: Ron Resh (www.ronresh.or)

especializada. De acordo com Mello (2001), a simulação era excessivamente cara nas décadas de 60 e 70.

Ron Resh, artista e pesquisador, estudou arte na Universidade de Iowa. Envolvido com a Geometria Aplicada, trabalhou com formas geométricas estruturadas e moduladas por dobras semelhantes ao origami. Em 1975, criou o maior ovo de Páscoa para a cidade de Vegreville, no Canadá. Foi o primeiro objeto modelado integralmente pela máquina numérica com um aplicativo de Modelagem Geométrica.

Em paralelo à evolução da representação ligada à simulação, os aplicativos de modelagem geométrica de objetos gráficos ganharam aplicações nas fábricas de automóveis na Europa. Antes as aplicações tridimensionais (3D) eram exclusivas da Engenharia.

De acordo com Moraes et. al. (2010), os principais requisitos dessas aplicações eram o de gerar modelos precisos que especificassem à Geometria um objeto que seria manufaturado. Aplicativos que vão nessa linha são o AutoCAD e o SolidWorks.

Segundo Mello, assim que os computadores foram se tornando mais rápidos e baratos, a simulação passou das grandes corporações para o mercado financeiro e, depois, para a linha de montagem da manufatura. Logo se tornou obrigatória para que grandes investimentos fossem aprovados.

No final da década de 80, o valor de simulação foi reconhecido por muitas organizações. Tanto que várias delas fizeram da simulação um requisito para que investimentos grandes pudessem ser aprovados. No entanto, organizações pequenas raramente utilizavam essa técnica (MELLO, 2001, p. 5).

Mello completa que somente nos anos 90 a simulação atingiria um grau de maturidade suficiente para que fosse utilizada por organizações de áreas diferentes, de grande e pequeno porte — desde os estágios iniciais de projetos, em animações, pesquisa, entre outros. Este avanço foi principalmente possível pelo surgimento de ferramentas voltadas para a simulação e fáceis de usar pela disponibilidade de computadores mais rápidos e baratos (MELLO, 2001, p. 6).

A modelagem teve um caminho semelhante. Com o passar do tempo, a modelagem geométrica começou a ser empregada por diversos profissionais. Além dos engenheiros que especificavam ferramentas, peças, equipamentos e outros objetos de

engenharia, os *softwares* de modelagem 3D passaram a ser utilizados por profissionais como arquitetos, estilistas, *designers* e artistas.

Estes profissionais modelam objetos para animações, games, croquis de plantas arquitetônicas, peças de vestuário, entre outras representações de objetos e cenários. Nesses casos, o intuito da modelagem deixou de ter especificações precisas e tornou-se comunicação, transmitindo a essência da forma dos objetos, sem necessitar alta precisão geométrica. Com esse propósito, para a modelagem de objetos gráficos tridimensionais surgiram alguns softwares como Blender e Maya (MORAES *et. al.*, 2010, p. 2).

O jornalista especializado em tecnologia John Walters (2003), em seu livro *Blobitecture*, aprofunda a influência do desenho paramétrico com as formas orgânicas que na década de 90 foram chamadas de Blob⁴⁵. Os computadores tiveram um papel essencial nas mudanças que se fizeram em paralelo ao uso dos aplicativos CAD convencionais. As transformações mais radicais se deram com modeladores 3D sofisticados, usados nos efeitos especiais e de animação. Esses “efeitos” criavam suavidades produzidas por algoritmos que simulavam forças físicas. Walters apontava para uma nova geração que não se preocupava tanto com a produção e misturava técnicas de animação com a FD, tratam-se dos “pós-blobistas” do grupo SHOP (o casal de gêmeos Sharpless e Gregg Pasquarelli que deixaram as formas orgânicas em função da dinamização).

O computador permitiu aos arquitetos repensar o processo de design em termos de procedimento e resultados de uma maneira que a prática comum e a indústria da construção, e o design convencional e suas metodologias não puderam acompanhar. Isso, por sua vez, teve um impacto igualmente profundo sobre as práticas legais, dando início a uma reestruturação das relações tradicionais de poder, responsabilidade e prestação de contas em design (WALTERS, 2003, p. 161) (Tradução nossa).

Os “pós-blobistas” começaram a se preocupar com a dinamização da forma e sua geração e se distanciaram ainda mais da produção, aproximando-se da Física e da Biologia.

⁴⁵ Referência ao filme *B, The Blob* de 1958 de Irvin S. Yeaworth Jr., Russell S. Doughten Jr. “A Bolha Assassina” trata do crescimento descontrolado de uma criatura alienígena.

4.2 Emuladores Físicos

Man-O-War é uma instalação que trabalha a matéria e a luz. A massa varia em opacidade, cor e forma à medida que responde às alterações no ambiente físico. Traduz uma preocupação do Gnuform formado pelos arquitetos Jason Payn e Heather Roberge.



*Figura 68 Instalação Man-O-War
Fonte: (MEREDITH, 2007, p. 220)*

Payn iniciou suas pesquisas biológicas com algoritmos que formavam o cabelo com partículas animadas em simulações computadorizadas (MEREDITH, 2007). Estudar o comportamento morfológico e entender o crescimento eram suas preocupações. Em 2006, foram finalistas do YAP (Programa Jovens Arquitetos) no PS1 do MOMA, com uma exposição sensorial e interativa. O sucesso dos jovens arquitetos se deu em função da modelagem digital com Particle-springs System (PSS).

Sistemas de partículas elásticas são baseados na aglomeração de pequenas massas, chamadas de partículas. São ligadas linearmente por molas elásticas. À cada mola é atribuída uma rigidez axial constante, com um comprimento inicial, e um coeficiente de amortecimento. Molas geram uma força de deformação quando deslocadas do seu estado de repouso. As forças externas podem ser aplicadas às partículas, tal como no caso de aceleração gravitacional (KILIAN, 2005, p. 2) (Tradução nossa).

Os sistemas intuitivos de otimização das formas eram complicados e demorados; Isler, Otto e Candela elaboraram mecanismos complicados para formas funiculares em experimentos que possibilitavam a composição de cascas em simulações físicas reais, utilizando filmes oleosos (superfície mínimas), tecidos elásticos com borracha e pesos e cálculos experimentais. Os sistemas PSS facilitam a modelagem e a composição de formas complexas.

Arturo Tedeschi (2015) descreve passo a passo como simular uma membrana com o uso de uma malha (*mesh*) e o emulador físico Kangroo 1.

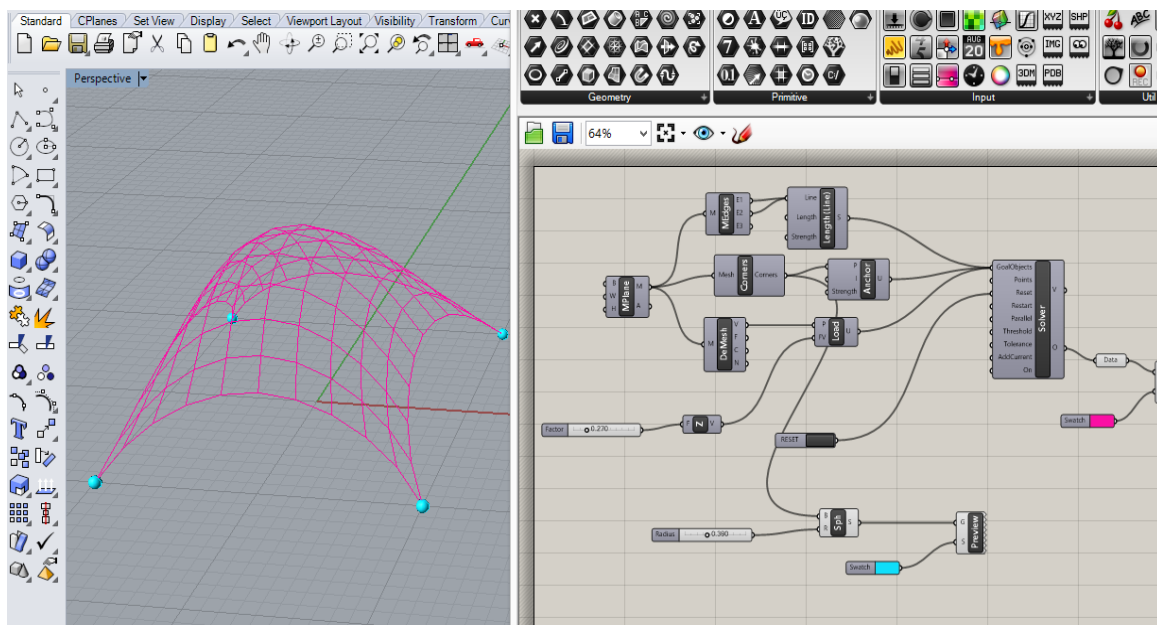


Figura 69 Membrana Simulada por PSS
Fonte: Elaboração Própria

Recentemente, Piker lançou o Kangaroo2 que simplificou a modelagem com PSS, a malha (cor rosa) sofre a ação da gravidade ancorada pelos pontos (azul) nas extremidades. A amplitude da membrana pode ser controlada com a variação das forças físicas elásticas e gravitacional (Figura 69).

O poder da PSS viabiliza o melhoramento em tempo real de uma estrutura composta de várias cascas, com pontos de ancoragem e aberturas conduzidas em minutos. A gravidade e tempo passam a ser controlados pelos algoritmos no aplicativo Rhinoceros com o *plugin* Grasshopper e, ainda, com o emulador (*engine*) físico de PSS

Kangaroo, este desenvolvido pelos arquitetos Daniel Piker⁴⁶, Robert Cervellione e Giulio Piacentino.

De posse de uma membra modelada em PSS, é possível compor e mudar seus pontos de modelagem, variando a composição da malha geratriz. O desenho com modelagem física passa a responder a forças e se torna um MDR com potencialidades na geração de formas complexas.

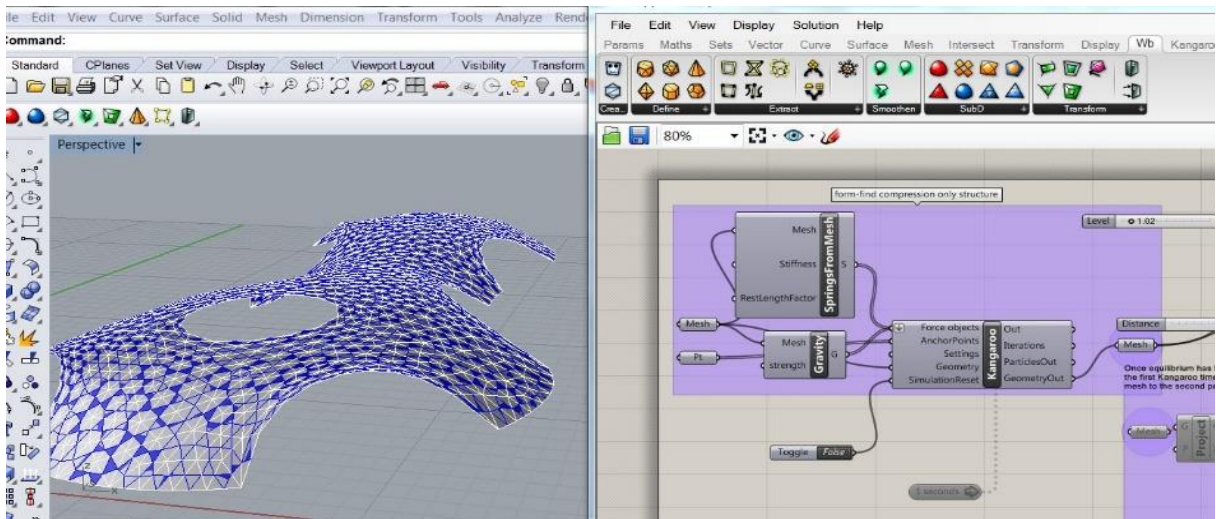


Figura 70 Casca Complexa GH +Kangaroo
Fonte: Elaboração Própria

Se a modelagem por partículas deixou os *games* mais realistas com avanços dos processadores rápidos, propriedades físicas trazem a realidade na iluminação, na renderização e no ambiente de simulação. No desenho de projeto, ela permite que forças e composições sofram ações do vento, da gravidade e da elasticidade, compondo MDR em tempo real. Nota-se que a simulação feita do Viaduto Basento é enriquecedora para entender a complexidade da estrutura de Sergio Musmec. Originalmente, a maquete foi feita com *neoprene*, sendo que a elasticidade da simulação com o emulador físico permite obter um efeito semelhante.

⁴⁶ Piker é formado pela AA de Londres, foi modelador do escritório Foster + Partners e pioneiro na modelagem com PSS.

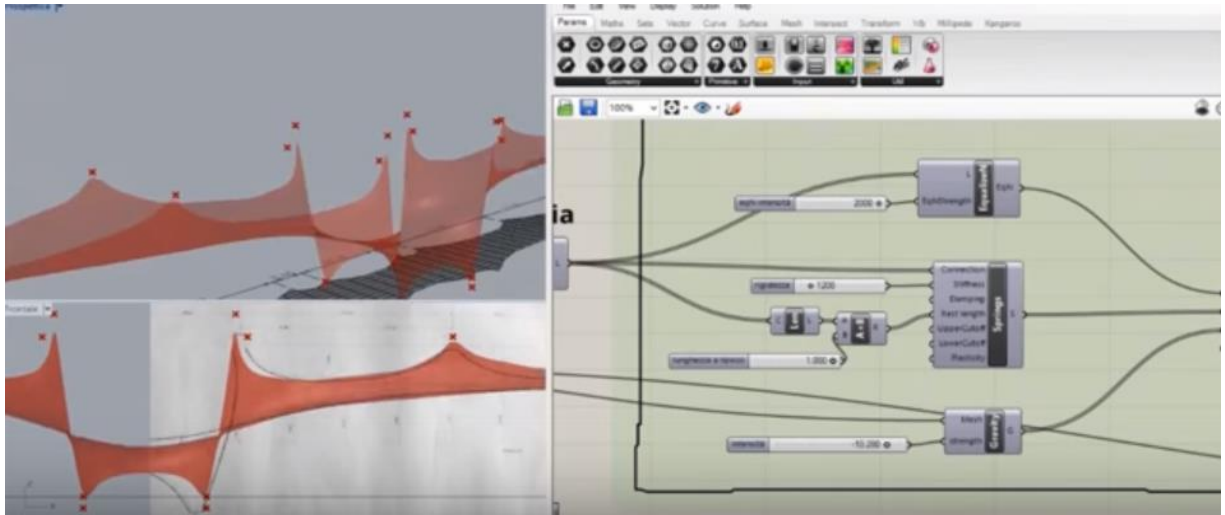


Figura 71 Viaduto Basento de Sergio Musmeci
 Fonte: Canal Arturo Tedeschi - Youtube

4.3 Modelos Dinâmicos de Representação e Simulação

Os modelos assim concebidos com MDR, auxiliados por sistemas com AAD e PSS, economizam tempo na sua otimização e passam para o mundo real através da FD, proporcionando agilidade na composição e entendimento que podem tornar os projetos eficientes, leves e resistentes. O projeto contemporâneo em Arquitetura e *Design* já sofreu radical transformação nas últimas décadas como este capítulo relatou.

A automação predial tem sido aprimorada pela utilização de dispositivos dotados de sistema de visão computacional, com sensores térmicos, infravermelho, interligados a sistemas que permitem o reconhecimento de movimento, face, ou fazem medições de velocidade e percurso valendo-se de algoritmos matemáticos, entre outros (TERRA, 2014, p. 84).

A Otimização em Tempo Real está se difundindo e pode dinamizar os edifícios e as cidades, tornando-os “inteligentes” ou capazes de responder e enfrentar as condições adversas que se alinham no horizonte próximo. O movimento difere da automação iniciada no início da Segunda Guerra porque utiliza os dispositivos dinâmicos associados a sensores que interferem na forma.

4.4 Visão Computacional

Após os ataques terroristas às torres gêmeas nos Estados Unidos, os dispositivos panópticos passaram a fazer reconhecimento facial através de câmeras “inteligentes” que propiciaram a medição da distância dos olhos e, em tempo real, consultavam um banco de dados.

Em 2010, dispositivos semelhantes foram introduzidos nos jogos eletrônicos para captar o movimento, permitindo o jogador interagir com gestos e movimento. Alex Kipman desenvolveu, com a empresa Prime Sense, os códigos do módulo Kinect para o Xbox 360 e Xbox One, libertando as mãos dos controles (*joystick*). Kipman também desenvolveu o HoloLens, óculos holográficos da Microsoft. A ideia de libertar os movimentos e atingir a imersão total é parte das novas possibilidades do Windows 10 para ser a melhor plataforma para as experiências de realidade virtual.

A visão computacional esteve presente no projeto dos estádios brasileiros da Copa do Mundo, Arena das Dunas, Mineirão, estações de metrô da Consolação e Paulista em São Paulo, e do Complexo Olímpico do Parque Olímpico de 2016 no Rio de Janeiro. Avaliando o fluxo de pedestre com o aplicativo Legion (TERRA, 2014, p. 93).

A realidade ficta através dos óculos da realidade virtual já é uma possibilidade imersiva para jogos, TV, celulares e cinema; em breve, podem potencializar a modelagem na Arquitetura e no *Design*. A Realidade Virtual ou Realidade Aumentada podem levar a um espaço digital paralelo, promovendo um descolamento (*disruptura*).



*Figura 72 SIGRADI 2015 - Óculos de Realidade 3D
Fonte: Elaboração Própria*

De dispositivos de papelão da empresa Google, até os sofisticados Óculos Rift, promove-se a popularização da experiência. Providos de um sensor de movimento e profundidade e uma tela de LCD, permitem que o movimento da cabeça seja interativo com as imagens. Os Óculos Rift foram comprados pelo Facebook Inc em 2014 e, para 2016, deve aparecer na versão definitiva.

4.5 Modelos e Simulação

Nos modelos que simulam forças físicas aplicadas à Geometria dos modelos (POTTMANN, 2007), os ensaios resultam em bem adequar os modelos às exigências dos projetistas. Os modelos são construídos em escala e ensaiados no ambiente digital e, depois, em ambiente próximo às condições programáticas do projeto. Os resultados são analisados e servirão para a adequação de novas propostas de projeto dos modelos.

Os estudos de novos materiais serão aplicados aos modelos em escala (KOEHL, 2003), simulando novas características de durabilidade, conforto térmico, resistência e leveza. Novos métodos de seleção de materiais fazem a diferença no projeto (ASHBY,

2011). O uso de novos compósitos está revolucionando a construção naval e aeroespacial, mas o seu uso na Arquitetura ainda é insipiente.

As complexidades das construções arquitetônicas já configuram um cenário real a ser enfrentado com a utilização de metodologias adequadas aos novos materiais que conferem novas possibilidades. O estudo analisa o emprego de novas tecnologias de modelagem digital com o uso de FD em compósitos, fibras, polímeros verdes e laminados. Chamados de materiais de última geração, materiais compostos de dois ou mais elementos que somam suas propriedades. Em geral, usam resinas e fibras, polímeros verdes, fibra de carbono. Conferem leveza, aumentam a resistência, reciclam ou aproveitam matéria-prima de forma inovadora e, assim, conferem sustentabilidade ao mesmo tempo em que melhoram as características do projeto.

Já são utilizados em várias áreas do conhecimento relacionadas à manufatura avançada: aeroespacial, naval, automobilística. Assim, os projetos de aviões, carros de corrida e barcos são produzidos de forma que suas características de *performance* sejam aprimoradas. São executados com o emprego da FD, podendo ser ensaiados em ambientes que refletem as condições encontradas em ambientes extremos. Atualmente, a Arquitetura e o *Design* incorporam a nova produção que exigem uma nova linha de montagem, novos equipamentos em ambientes de testes e desenvolvimento em ambiente de troca de informação e colaboração.

CAPÍTULO - 5 OS COMPÓSITOS

As transformações da visão computacional e da modelagem AAD associada aos emuladores físicos com a PSS promovem uma mudança radical no MDRA. A representação, além de dinâmica, passa a ser imersiva e interativa. Os gestos humanos vão poder compor e modelar com tal realidade, podendo sentir o projeto em ambientes situacionais. Metodologias antes restritas à Engenharia naval e aeroespacial chegaram até a Arquitetura e ao *Design*. Melhorar somente a eficiência e a produtividade com a interface da sustentabilidade não bastam. Novos materiais fazem parte da equação que podem alterar os paradigmas da Arquitetura e *Design*.

As fibras passam fazer parte de um vasto potencial que o Brasil tem de reaproveitar, com os resíduos da produção agrícola a atingir a autossuficiência na produção de compósitos de alta *performance*, sendo estes recicláveis e com mote ecológico positivo.

5.1 Histórico dos Materiais Compósitos no Brasil

Os materiais compostos ou compósitos são originários do esforço americano durante a Segunda Guerra Mundial, na década de 40, para substituir peças de alumínio do avião britânico Spitfire. A primeira fábrica de resina poliéster no Brasil, data de 1954. O engenheiro mecânico Fernando Eduardo Lee, dono de uma fábrica de ceras, passou a fazer experiências com a construção de barcos em compósitos no Guarujá (SP) (ABMACO, 2008, p. 16).

Na década de 50, os materiais compósitos eram utilizados nas indústrias bélicas e no setor petrolífero devido à sua leveza, resistência e oposição à corrosão. A Chevrolet passa a utilizar material compósito na linha produtiva da carroceria do Corvette.

O uso dos compósitos na construção civil no Brasil teve início na produção de telhas pela Goyana, em 1954, no bairro da Lapa, em São Paulo, com a resina Polylyte 8000 da Resana (atual Reichhold) — fábrica fundada em 1948 pelo dinamarquês Kritian Orberg. Localizada na cidade de Mogi das Cruzes, São Paulo, a produção da resina Polylyte 8000 não era pré-acelerada e era destinada para uso geral. No final da década de 50, o material

“fiberglass” era empregado em barcos e carros. A Monoplast, criada em 1958 por João Amaral Gurgel, por sua vez, era especializada em painéis luminosos de acrílico com suportes reforçados em fibra de vidro. Ao vender a Monoplast, Gurgel funda a Macan Gurgel Jr. (1961-1965), e fabrica minicarros com motorização à gasolina, de 4 tempos e resfriamento a ar.



Figura 73 Mini Karmann Ghia e Gurgel Jr. II da Macan
Fonte: Anúncio de jornal de 1964

Em 1968, com alto investimento (US\$ 50 mil), se transformaria na Gurgel Indústria e Comércio de Veículos Ltda., em São Paulo, dando início a fabricação automotiva com o buggy Ipanema (ABMACO, 2008, pp. 14-15).



Figura 74 Gurgel 1200 Ipanema
Fonte: (REVISTA QUATRO RODAS, 1966, ed. 77, p. 92)



Figura 75 Componentes do Gurgel 1200
Fonte: Macan Gurgel (1966)

No final da década de 60, a fibra de vidro se espalha para fora da grande São Paulo, a Forteplas produz capacetes e carenagens para pequenos aviões em São José dos Campos, a aeronáutica Neiva fundada em 1954, no Rio de Janeiro, transfere-se para Botucatu. A Carbrasmar, fundada em 1956 pelo engenheiro alemão Joachim Kürsters, adota o PRFV na produção de lanchas e veleiros no Rio de Janeiro.

Na década de 70, a Lafer produziu 4.300 unidades do MP Lafer, veículo de fibra de vidro montado sobre o chassi do fusca, inspirado no clássico inglês MG TD 1952. Percival Lafer também produziu orelhões (telefones públicos) – projeto original da arquiteta Chu Ming Silveira para a empresa estatal Companhia Telefônica Brasileira (CTB).

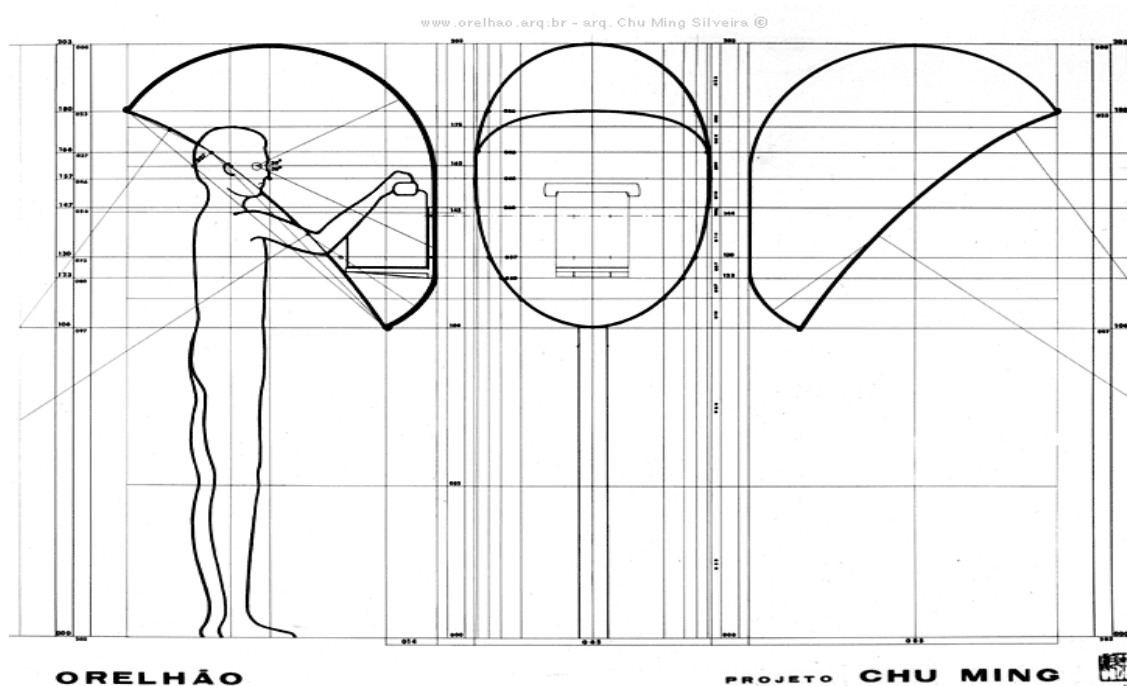


Figura 76 Orelhão - Chu Ming Silveira
Fonte: (www.orelhão.arq.br)

O escritório Cauduro Martino, em 1970, desenha toda a programação visual da Av. Paulista e instala abrigos funiculares em fibra de vidro.

Nos anos 80, na região sul, as empresas de carrocerias de ônibus se estabeleceram. Busccar, Marcopolo, Carrocerias Nielson e Nicola & Cia. O Grupo Marcopolo cria a MVC em São José dos Pinhais para produção de peças em termofixos e termoplásticos. Há a produção de tubos e tanques com a resina éster vinílica Derakane, da americana Dow, para o setor químico e petrolífero.

Em São Paulo, a Tecniplas, e no Rio, a Cogumelo, especializaram-se na construção de tanques e tubos. A construção civil começou a consumir telhas, tubos, rufos, pisos e



*Figura 77 Abrigo de Ônibus - Av. Paulista
Fonte: Cauduro Martino*

placas de mármore sintético, piscinas e caixas d'água, todos com o uso de PRFV.

Os anos 90 foram marcados pela entrada de multinacionais Akso Nobel, fábrica holandesa que se fixou em Itupeva (SP), Saint –Gobain Vetrotex, em Capivari (SP). O mercado globalizado permitiu a evolução dos processos de produção como os sistemas Moldagem por Transferência de Resina (RTM) e processos de moldagem de peças a quente por compressão: Sheet Molding Compounds (SMC), Bulk Molding Compounds (BMC) e infusão a vácuo.

5.2 Materiais Compósitos

Leves, fortes e resistentes à corrosão, os Plásticos Reforçados com Fibras de Vidro (PRFV) nasceram na indústria bélica americana. Em 1948, o primeiro tubo de poliéster reforçado é instalado numa plataforma de petróleo americana (ABIMACO, 2010).

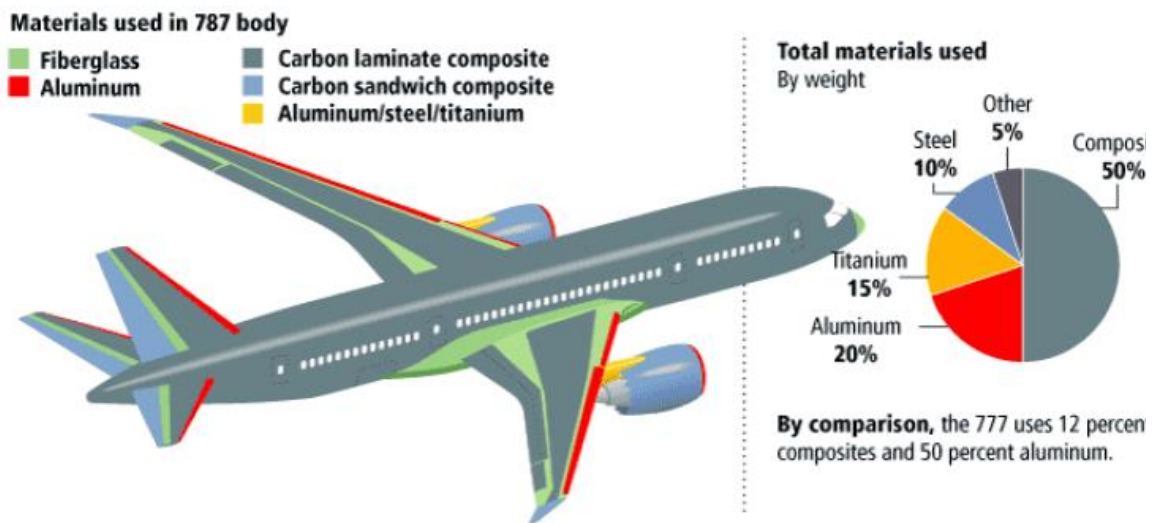


Figura 78 Materiais no Boeing 787
Fonte: Boeing 787

As vantagens dos PRFV têm sobre os demais materiais é por misturar a qualidade de dois ou mais materiais, podendo ter um terceiro de preenchimento que pode conferir muita economia; em termos comparativos, a curva do crescimento dos materiais convencionais é exponencial. Na indústria aeroespacial e nos aviões modernos, o emprego dos compósitos é grande (Figura 78).

Compósitos são reforçados com fibra pela matriz. A matriz é a “cola” usada para manter as fibras unidas e, quando curada, há o endurecimento e liberação de calor. Assim, o material fica resistente, moldável e pode suportar parte da carga estrutural após o processo de cura.

Na indústria naval, as matrizes são resistentes à água, na aeroespacial a matriz é o epóxi, um termofixo. A matriz mais popular é a poliéster utilizada na construção civil, piscinas e setor automobilístico. A fibra de vidro tem boa resistência à tração e compressão, ótima resistência ao impacto e fácil manuseio.

5.3 Compósitos de Alto Desempenho

Os compósitos de Alto Desempenho podem combinar as orientações das fibras sintéticas, as resinas e a combinação de vários tipos de como kevlar, fibra de carbono e

fibra de vidro. A mistura correta, com a matriz apropriada, oferece resistência ao calor e chegam a ser cinco vezes mais resistentes que o aço.

O processo de moldagem contínua no qual fibras de vidro, sob forma de *Roving*, são puxadas, se dá através de uma matriz de aço aquecida, passando antes por um banho de resina termofixa em que as fibras são impregnadas, formando um material composto sólido de seção uniforme. Os produtos fabricados pelo processo de pultrusão⁴⁷ têm como vantagens a redução de peso, a qualidade de acabamento, durabilidade e alta resistência mecânica e à corrosão.

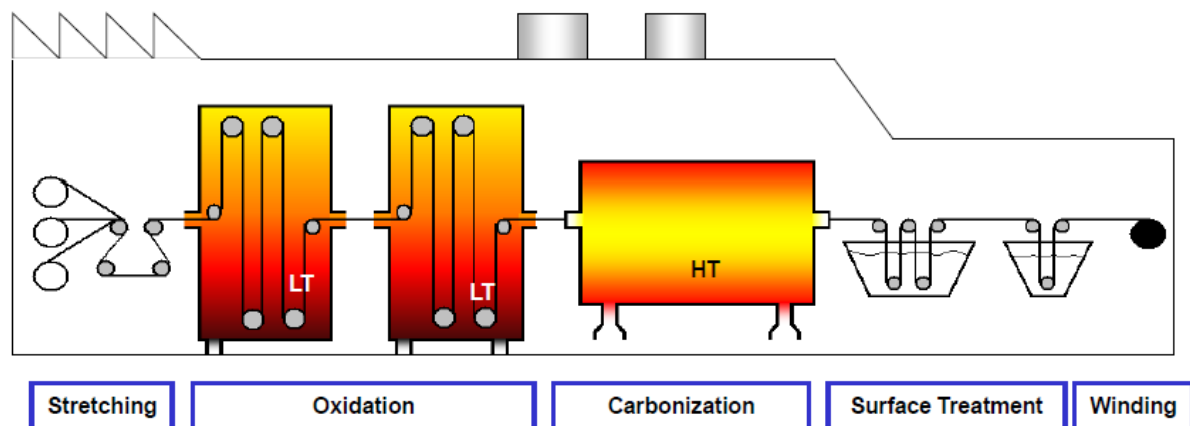


Figura 79 Processo de Pirólise/oxidação da Fibra de Carbono
Fonte: Thoro

Outras possibilidades são a adição de reforços de fibra de vidro ou fibra de carbono, melhorando as propriedades mecânicas dos perfis ou a adição de véus de superfície. Este processo, cuja aplicação é frequente na indústria de componentes aeronáuticos, em materiais para a construção civil e permite a produção de grandes séries de perfis com secção constante de polímeros reforçados com fibras longas.

Outro processo envolvendo os compósitos é o desenvolvimento de tecidos estruturados para as pás das turbinas eólicas. Nascidas na Europa, as turbinas eólicas vêm aumentando de eficiência com pás cada vez maiores e ocupando um espaço de produção

⁴⁷ A pultrusão é um processo de fabrico em contínuo de perfis constituídos por fibras e resinas termoendurecidas, que consiste em "puxar" as fibras embebidas na resina matriz através de uma fieira ou molde. O aquecimento do molde, que tem a forma da secção transversal do perfil desejado, provoca a polimerização (cura) da resina durante a passagem no seu interior. A palavra pultrusão provém do inglês: "to pull", que significa precisamente "puxar".

de energia elétrica diversificada no Brasil. Nos países desenvolvidos, as turbinas ocupam regiões oceânicas onde o impacto ambiental é minimizado.

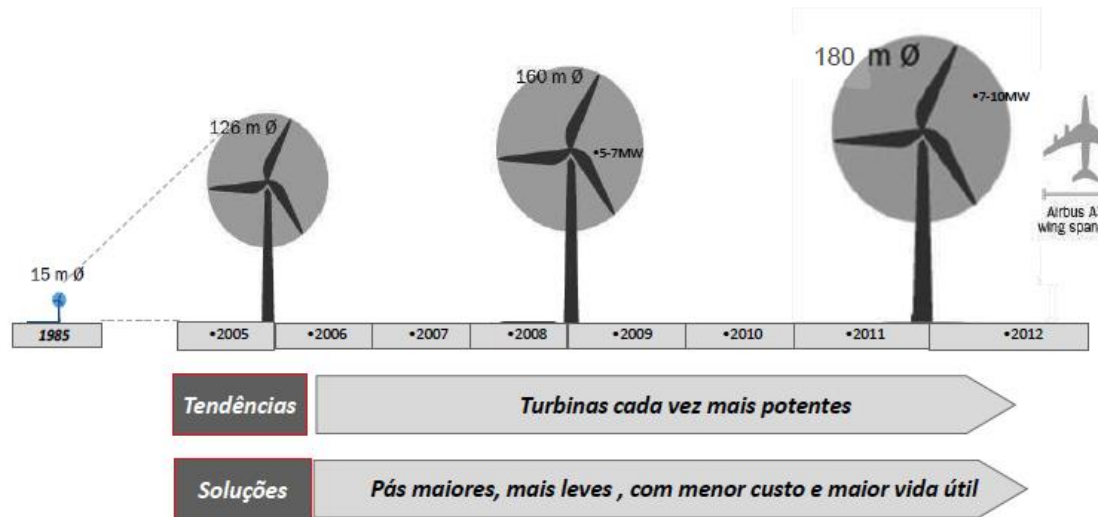


Figura 80 Crescimento das Pás Eólicas
Fonte: Owens

Os tecidos de alta *performance* são costurados por uma agulha especial que possibilita construir nervuras de reforços com orientação dos fios sintéticos (poliéster, poliamida). Tecidos unidirecionais têm camada única com reforço e angulação de 0° a 90°. São empregados nas regiões onde requerem alta concentração de reforços e orientação das fibras. Tecidos Biaxial têm camadas orientadas a 45° e são utilizados onde há transições de carga ou cargas extremas sujeitas a torção e cisalhamento.

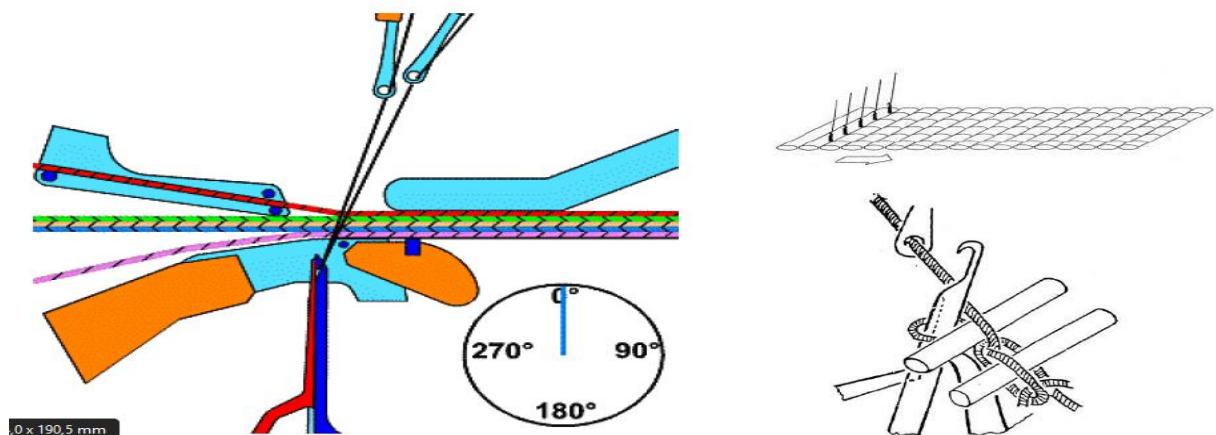


Figura 81 Agulha de Tecido de Alta Performance
Fonte: Owens Corning

As pás eólicas estão em desenvolvimento no Brasil e o mercado já tem os tecidos de alto desempenho com camadas orientadas e reforços. A fibra de vidro se desenvolveu no Brasil nas décadas de 70 e 80; agora o mercado brasileiro já ganha força na produção de aviões comerciais e os projetos arquitetônicos podem usufruir dos compósitos melhorando sua eficiência e agilidade na construção.

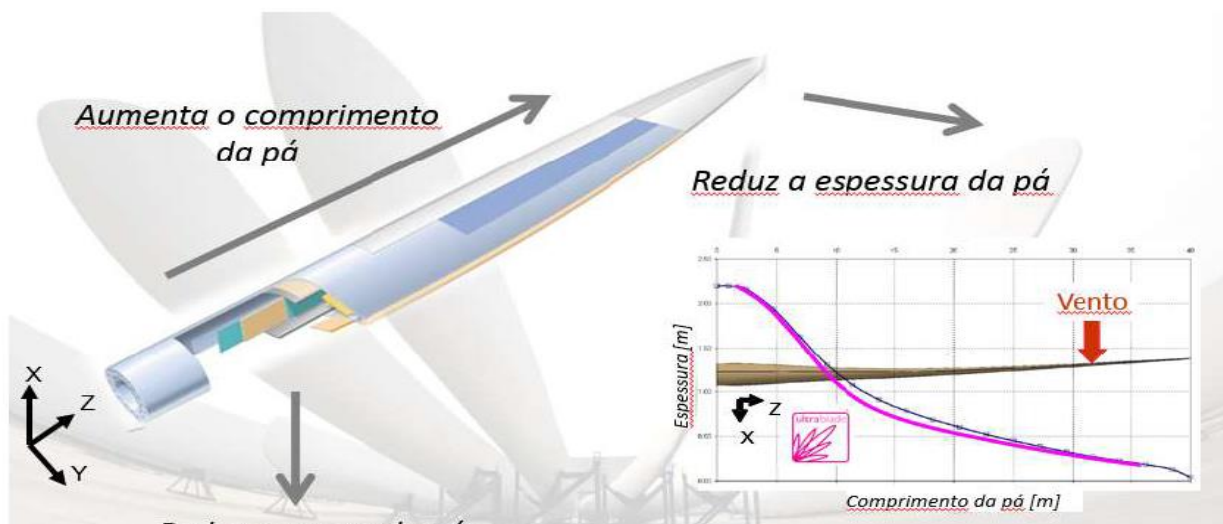


Figura 82 Estrutura Interna da Pá Eólica
Fonte: Owens Corning

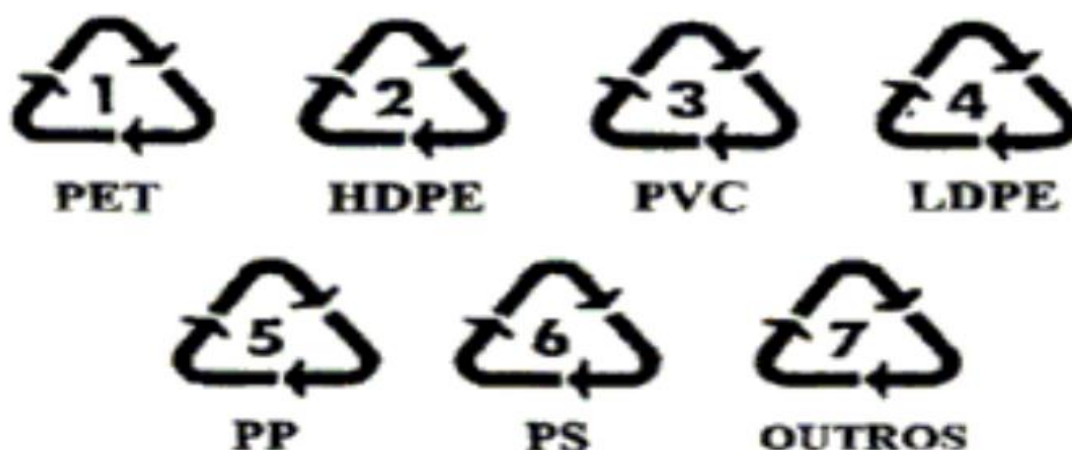
O uso de fibras de carbono de concreto com reforços de PRFV já são empregados na Arquitetura em reparos, mobiliário urbano, janelas e, recentemente, surgiram as paredes de Wall System da CasaPratica. Ampliar o conhecimento e a prática com esses novos materiais fazem parte desta pesquisa que desenvolve projetos adaptando tecnologias das áreas que têm grande desenvolvimento e podem contribuir para uma mudança de paradigma na Arquitetura e *Design*.

5.4 Reciclagem dos Materiais Compósitos

O Brasil é um dos países que tem um grande potencial para explorar as fontes alternativas de energia oriundas das fibras vegetais (bioóleo e biocombustíveis), do vento (energia eólica), das marés (energia maremotriz) e do lixo (gás metano). A reciclagem e o reuso podem ajudar na redução do consumo de energia na produção industrial. O país é

um bom "reciclador" de alumínio, sendo interessante notar que a reciclagem do alumínio requer muitos cuidados com o meio ambiente. O reaproveitamento ou a reciclagem dos outros materiais (vidros, plástico, ferro, aço, pneus e madeira) ainda é pequeno.

A reciclagem e o reaproveitamento dos resíduos da produção devem fazer parte do paradigma da EAC, para que o projeto assuma características de alto desempenho e competitividade. Além de proteger o planeta, o consumidor vê nos produtos (objetos, alimentos, embalagens) selos gráficos que indicam o descarte correto do material. Em EAC, têm-se apenas protocolos, índices e indicadores, sendo que a reciclagem, desmontagem e reaproveitamento dos materiais é insignificante. São fatores que indicam a baixa produtividade em relação aos outros setores produtivos.



*Figura 83 Selos Gráfico de Reciclagem
Fonte: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2013*

No Brasil, muitas cidades não têm aterros sanitários adequados e o destino para o lixo industrial e materiais de descarte (plásticos, borracha, madeira, PET, isopor etc.), e de outros materiais, vão para as ruas, provocam alagamentos, alcançam os rios e chegam a poluir lagos, praias e a costa brasileira. O lixo, além de poluir, pode abrigar ratos, moscas e mosquitos que propagam várias doenças como a dengue, zika, chikungunya, leptospirose, malária e febre amarela, conjuntivite, febre tifoide, tuberculose, diarreia, entre outras.

Em agosto de 2010, foi sancionada a lei que regulamenta a criação de aterros normatizados e a tomada de ações denominada Lógica Reversa (LR). As empresas passam

a ter responsabilidade pelo material empregado nos seus produtos e terão de dar, a ele, destinação adequada, recolhendo e assegurando um destino ecologicamente correto.

O desperdício dos materiais na construção civil é de 5% a 20%. Na construção, além de consumir enormes quantidades de energia, a emissão de partículas piora a qualidade do ar nos grandes centros urbanos, sendo o setor que mais consome energia e o que produz a maior quantidade de resíduos urbanos. É comum o entulho sair da obra em caminhões que vão direto para os aterros sem nenhum processo de reciclagem ou reaproveitamento dos materiais. Assim, o entulho pode chegar até 70% da massa total dos resíduos sólidos urbanos⁴⁸.

O investimento para tratar corretamente o resíduo urbano é alto. Depende de incentivos e participação de toda a cadeia produtiva, do produtor ao consumidor e, também, da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) do produto. O Brasil já investe no aproveitamento de resíduos agrícolas para a produção de combustíveis (bioóleo), gás (biodigestores) e plásticos verdes, madeira plástica e reciclagem de compósitos poliméricos. O etanol produzido a partir da moagem cana-de-açúcar pode gerar grande parte da energia utilizada na sua produção. Os biopolímeros são plásticos derivados de um éster extraídos de óleos vegetais ou resíduos (fibras). Poluem o ambiente de forma equivalente ao plástico, este originário de carbono fósseis (petróleo). Como é feito de resíduos agrícolas abundantes no Brasil, captura 2,15 Kg de CO₂ para cada quilo produzido, o que dá ao plástico verde um papel negativo em termos de emissão de carbono⁴⁹.

A reciclagem dos compósitos e dos polímeros é recente, o Brasil já produz a madeira plástica feita pela extrusão⁵⁰ de plásticos, como o Politereftalato de Etileno (PET), o Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e o Polipropileno (PP).

⁴⁸ O IBGE — Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística disponibiliza estatísticas e publicações sobre os resíduos urbanos por localidade (www.ibege.gov.br).

⁴⁹ Fonte: Brasken (www.brasken.com)

⁵⁰ A madeira plástica é feita em extrusoras, máquinas que aquecem o plástico e tracionam após o resfriamento formando perfis de seção e comprimento variados. O processo visa alimentar a fibra e o polímero, promover mistura suficiente a fim de dispersar a fibra de forma eficaz e uniforme no polímero e então pôr a mistura na forma de perfis contínuos, com geometria desejada. Fonte: Serviço Brasileiro De Respostas Técnicas (2007, 2008b).

As madeiras plásticas podem ser definidas como “produtos manufaturados com conteúdo de plástico superior a 50% em massa e que possuem genericamente seção transversal retangular e apresentam dimensões típicas dos produtos de madeira industrializada” (OLIVEIRA, 2013, p. 103).

A madeira plástica, também chamada madeira de plástico é um perfil termoplástico. Esses perfis podem ser de plástico reciclado ou não. No Brasil o normal é se utilizar o material de descarte como rótulos de garrafas, sacolas de supermercado, garrafas PET etc. No exterior usa-se mais a matéria prima virgem.

Indicada para uso externos em *decks* de piscinas, fachadas e mobiliário urbano (bancos de jardim, lixeiras, peitoris, escadas etc.) O material plástico é resistente ao sol, à corrosão, chuva, poeira e pode ser mantida em contato permanente com o solo. É ideal para o clima tropical húmido, porque é imune a pragas, não mofa ou cria fungos, não absorve umidade e tem pouca deformação estrutural.



Figura 84 Eco Casa projeto Tatiana Terry e Luciano Alvares
Fonte: (ARQUITETURA & CONSTRUÇÃO n.309 ,2013)

Os plásticos comuns podem ser facilmente reciclados; já compósitos, contêm resinas e fibras (fibra de vidro, fibra de carbono, aramida etc.). Os polímeros termofixos⁵¹

⁵¹ Os termofixos, termorrígidos ou termoendurecidos são diferentes dos termoplásticos que amolecem e fundem-se e podem ser reaproveitados ou reciclados. Os termofixos se decompõem, não então podendo ser fundidos ou remoldados.

não derretem com o aquecimento, são mais rígidos por conta da maior complexidade em sua formação química. O descarte dos materiais compósitos e de RFV chegam em torno de 10% (o destino é o aterro sanitário) com custos associados ao descarte.



*Figura 85 Bancos de estádio - compósito reaproveitado
Fonte: IPT (www.ipt.br)*

Em janeiro de 2010, a Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos (ALMACO) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) uniram-se para desenvolver soluções de custo e investimento baixos para o descarte de compósitos no próprio processo produtivo ou em outras aplicações. O programa pretende reciclar chapas de RFV, madeira plástica, painéis isolantes, borrachas, mármore sintético, concreto, compósitos e isolantes elétricos.

Dentro do Programa ALMACO Nacional de Reciclagem de Compósitos (PNARC) as metas são o incremento da responsabilidade ambiental, crescimentos sustentável, melhoria da imagem do produto compósito, pesquisa de novas aplicações e soluções em Lógica Reversa (LR). A ideia é reduzir em 10% o volume de compósitos descartados em aterros sanitários Classe 2⁵².

⁵²Os aterros Sanitários são elaborados por projetos técnicos, o qual deve ser aprovado pelo órgão estadual de proteção ao meio ambiente e pelas autoridades sanitária. São classificados em classes: Classe I destina-se a resíduos industriais perigosos (são aqueles que apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente),

Os primeiros produtos provenientes da reciclagem de compósitos pelo PNARC já estão no mercado seguindo o caminho da LR na produção, com várias empresas associadas. As peças contêm de 85% a 100% de resíduos de compósitos, vão de pisos para ônibus, painéis isolantes térmicos, muro “Premimum”, pilar pulturado, batente de porta e porta escolar.

gerados pelas indústrias, comércios e petrolíferas, o Classe II destina-se à disposição de resíduos industriais não-perigosos, inertes e não-inertes, e resíduos domiciliares.

CAPÍTULO - 6 PARTE EXPERIMENTAL

As experiências projetuais tiveram como foco testar e verificar o desenvolvimento das potencialidades dos Modelos Dinâmicos de Representação (MDR) com o processo de desenho com os Modelagem Paramétrica utilizando aplicativos CAD/CAM e Modelagem Algorítmica (ADD).

Para a construção dos MDR foi utilizada a Fabricação Digital (FD) em alguns casos. Não foram utilizados aplicativos para a determinar os materiais adequados aos diferentes projetos. Os experimentos foram adaptados para as condições da escola, com investimentos pontuais e orçamento de baixo custo. Não foram utilizadas verbas de auxílio a pesquisa ou bolsa de fomento. Depois da fase de projeto e testes o auxílio à pesquisa deve ser elaborado após a revisão dos experimentos.

6.1 Projeto 1— Scannner 3D com o Kinect.

Nas últimas décadas aumentaram as interfaces entre o homem e a máquina, porém, até hoje, as interações ocorrem com maior frequência através de teclado, *mouse* ou *joystick*. Para a Arquitetura e o *Design* essa interação é prejudicial principalmente para os alunos e professores que desenham. A profissão requer instrumentos mais precisos entre e ideia e a tela.

A Visão Computacional (VC) é uma interface que pode potencializar o gesto, a voz e o próprio objeto para dentro da tela transformando o ato de modelar e projetar com a máquina numérica e a interface adequada. Os óculos de visão, luvas e sensores prometem essa interação e começam a surgir exemplos em *shows*, comerciais de TV, artigos tecnológicos especializados.

Dispositivos de VC podem ser comprados para os celulares, *tablets* e *laptops*. Podem fazer interações, medições, visão noturna e digitalizar objetos. Os dispositivos pequenos e de fácil instalação. No mercado aparecem o Structure Sensor (<https://store.structure.io/store>) e o DUO MC (www.duo3d.com/mc). Um novo projeto da Microsoft, o MobileFusion, promete oferecer imagens 3D de alta qualidade em tempo

real, usando um telefone celular regular sem dispositivos externos. A VC estará então popularizada com os novos dispositivos portáteis.

O conceito de Realidade Aumentada (RA) é a fusão de mundos completamente reais com ambientes completamente virtuais através de interfaces e dispositivos que ampliam os sentidos em relação ao espaço/tempo. Aplica-se a RA em quase todos os sentidos: visão, audição, tato e força e olfato. O conceito de Visão Computacional pode ser utilizado com RA através de dispositivo que permita medir movimentos, presença e distâncias.

Normalmente são utilizados na segurança e automação predial, em alarmes e na redução de consumo de energia elétrica. Recentemente, ganharam sensores infravermelhos, e de movimento que conjugados podem reconhecer faces, voz, digitais, gestos, medir percursos e velocidade com o uso de algoritmos matemáticos.



Figura 86 Kinect desmontado
Fonte: Ifixit (www.ifixit.com)

O projeto desenvolvido com MDR para fins educacionais no ensino de Arquitetura e *Design* explorou as potencialidades do sensor Kinect do jogo eletrônico XBOX 360 (Figura 86) de baixo custo e fácil de encontrar. O dispositivo contém uma

câmera RGB (Red, Green, Blue), um sensor de profundidade (infravermelho) e microfone conectados a um processador e *software*. Com esses sensores, o Kinect detecta 48 pontos de articulação do corpo, e pode detectar gestos e movimento (Figura 87).

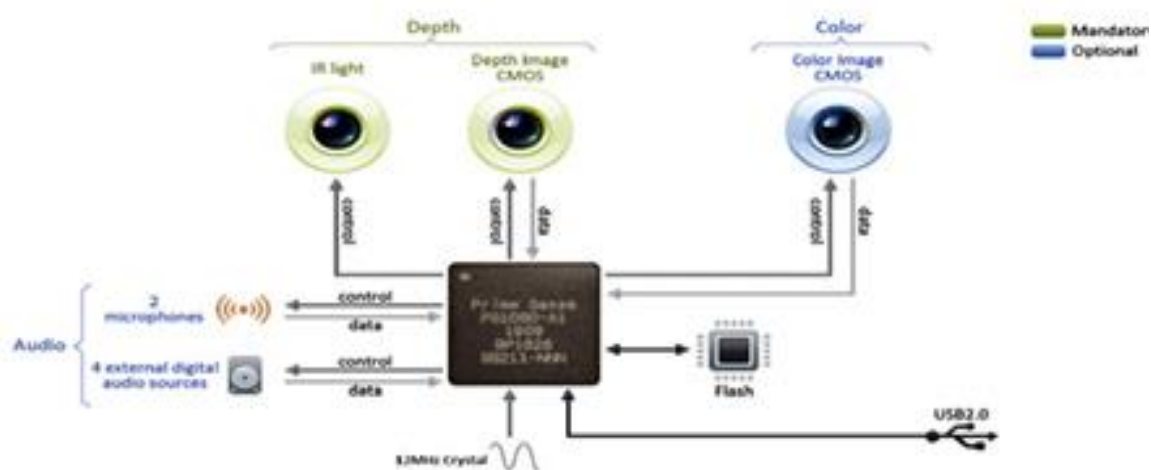


Figura 87 Fluxograma do Kinect
Fonte: Ifixit (www.ifixit.com)

O Kinect, dispositivo fabricado pela startup Prime Sense, empresa selecionada para integrar o Project Natal, foi lançado nos EUA, em 2010, pela Microsoft; chegou ao Brasil em 2011, embora o reconhecimento de voz não tivesse uma biblioteca disponível. Rapidamente os hackers⁵³ abriram o sistema operacional e difundiram bibliotecas e drives que possibilitaram conectar o Kinect ao Computador Pessoal⁵⁴ (PC).

O primeiro passo dado para conectar o Kinect ao PC é ter uma fonte externa de alimentação para o dispositivo. Os drives e bibliotecas ainda podem ser encontrados nas comunidades virtuais de desenvolvimento da programação e em sistemas abertos (open source) da Interface Natural ao Usuário (NUI) que permitem conectar o Kinect às plataformas Windows, IOS e Linux. A Open Kinect (www.openkinect.org) e Open NI (Natural Interaction) referem tal procedimento.

⁵³ *Hacker* é um termo em inglês utilizado na informática que significa atividade ilegal ou não autorizada de invadir, decifrar, manipular e divulgar de senhas, dados, programas e sistemas. Jovens *hackers* são recrutados para ajudar a proteger, pesquisar, desenvolver alternativas não convencionais em sistemas em Tecnologia da Informação (TI).

⁵⁴ Sigla do abreviado do termo inglês *Personal Computer*.

- Foi testado o reconhecimento de movimento com o Kinect e um PC utilizando a biblioteca do Open NI.
- Com digitalização de imagem foi utilizada o Kinect ligado ao aplicativo gratuito Reconstructme (<http://reconstructme.net>).

O Primeiro teste com o Kinect Conectado a um PC foi exibido na I Feira USP de Inovação e Empreendedorismo (USPiTec), em 2012. A feira é informativa e dirigida para corroborar com as pesquisas realizadas pela universidade aos estudantes do 2º grau. No estande da FAUUSP, na USP Leste, o público pode ver as novas metodologias de modelagem com uma máquina de prototipagem rápida subtrativa e um aplicativo que permitia ligar o Kinect do jogo eletrônico Xbox ao *laptop*.

Embora não existisse uma conexão entre a modelagem e o Kinect, o público jovem se divertiu com interface que possibilitava a interatividade com os movimentos e a possibilidade de transformar o Kinect em scanner 3D.



Figura 88 Fotos do Estande da FAUUSP - USPITEC, 2012
Fonte: Elaboração Própria

Após o evento o Kinect foi testado na digitalização de uma imagem 3D real. De posse do arquivo digital, com a utilização de FD, foi feito um modelo para testar o processo de moldes e seriação da peça. O modelo inicial foi feito na fresadora CNC-*router*⁵⁵ em Poliuretano Rígido⁵⁶ de média densidade, de células fechadas para receber

⁵⁵ *Router* é um tipo popular de Fresadora CNC que emprega sistemas computadorizados de corte e gravação de alta precisão. Operam com programas CAD/CAM em materiais como MDF, madeira compensada, poliuretano, plásticos de engenharia e metais moles (alumínio, cobre, e ligas) desde que devidamente resfriados.

⁵⁶ Poliuretano são materiais de largo uso em EAC, tem as principais densidades: Rígidos (20 Kg/m³ até 750 Kg/m³), Rígidos Estruturais (150 Kg/m³ a 850 kg/m³), Flexíveis (8 a 50 Kg/m³), Flexível Moldado (8 à 50 Kg/m³), Expandido e Pele Integral (8 a 50 Kg/m).



Figura 89 Molde de Poliuretano sem e com Gelacoat
Fonte: Elaboração Própria

*Gel Coat*⁵⁷ para executar moldes e seriação da peça. Após a usinagem da peça, o *Gel Coat* aplicado diretamente sobre ela, pois que as células fechadas impedem a deformação da peça pela resina. O produto requer cuidados na aplicação, deve-se utilizar uma pistola de ar comprimido de bico de 5mm. Utiliza-se parafina líquida na pistola para que a secagem seja feita sem o contato com o ar. A parafina faz essa isolação ao migrar para a superfície dos acabamentos. Após a secagem, o *Gel Coat* pode ser polido e adquire brilho (Figura 87).

Aplica-se o desmoldante em três camadas esperando a secagem completa de cada camada. Assim, o molde pode fornecer várias cópias da peça em fibra de vidro ou fibra de carbono resinadas.

⁵⁷ Camada de resina geralmente pigmentada aplicada dentro do molde, antes das laminações das camadas de fibra de vidro ou fibra de carbono. Requer cuidados técnicos para se obter a espessura média (0,6 milímetros). O brilho e os desmoldantes serão aplicados após a secagem. O *Gel Coat* é responsável pela desmoldagem e acabamento das peças.

6.1.1 Desdobramentos

A maior dificuldade do experimento não foi a parte computacional, o Kinect se conectou facilmente ao computador, as bibliotecas foram instaladas e o aplicativo reconheceu os gestos e o movimento.

A maior parte dos problemas vieram com a FD da peça durante o manuseio dos materiais, principalmente na etapa de elaboração do molde. A situação foi contornada com a aquisição de habilidades em um curso fornecido pelo IPT, dentro da USP, com apoio da Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos – ALMACO (www.almaco.org.br).

6.2 Projeto 2 - Cadeira de *Dancehabillity* com MDR

O projeto teve como inspiração o trabalho do *designer* brasileiro Geroge Philot (ver pag. 43), especialista em produtos inovadores voltados para acessibilidade. Philot amplia a movimentação sinestésica através de equipamentos especiais que misturam equipamentos aeroespaciais de treinamento (como o giroscópio), com brinquedos de um parque infantil permitindo um “voo” controlado por cabos, roldanas e engrenagens. Além do giroscópio, o *designer* criou uma asa delta, um balanço e um carrossel. Todos os brinquedos são acessíveis e cada equipamento permite ao usuário um tipo de movimento específico com segurança e conforto.

O projeto pesquisou uma cadeira desenvolvida para o Hospital Sarha de Brasília. Elaborada em titânio e alumínio, a cadeira permite a posição vertical. A inspiração deste experimento veio após elaborar o giroscópio com a modelagem CAD/CAM; o modelo foi adaptado para uma cadeira de rodas inclusiva para ser utilizada na dança.



Figura 90 Cadeira Hospital Sarah
Fonte: Hospital Sarah

O monociclo Monovelo foi projetado para abertura das olimpíadas de Beijing de 2008 e deveria agregar as características de leveza e facilidade de montagem. Também eram premissas, a utilização de compósitos e o uso de baixa tecnologia. O moniciclo podia se iluminar à noite por utilizar material plástico transparente.

Foram feitos estudos utilizando marcadores sobre papel acetinado para obter o efeito de volume dado nos desenhos automotivos. Com o desenho era possível somar os vários projetos em um novo projeto, para posterior modelagem, executada em CAD/CAM.

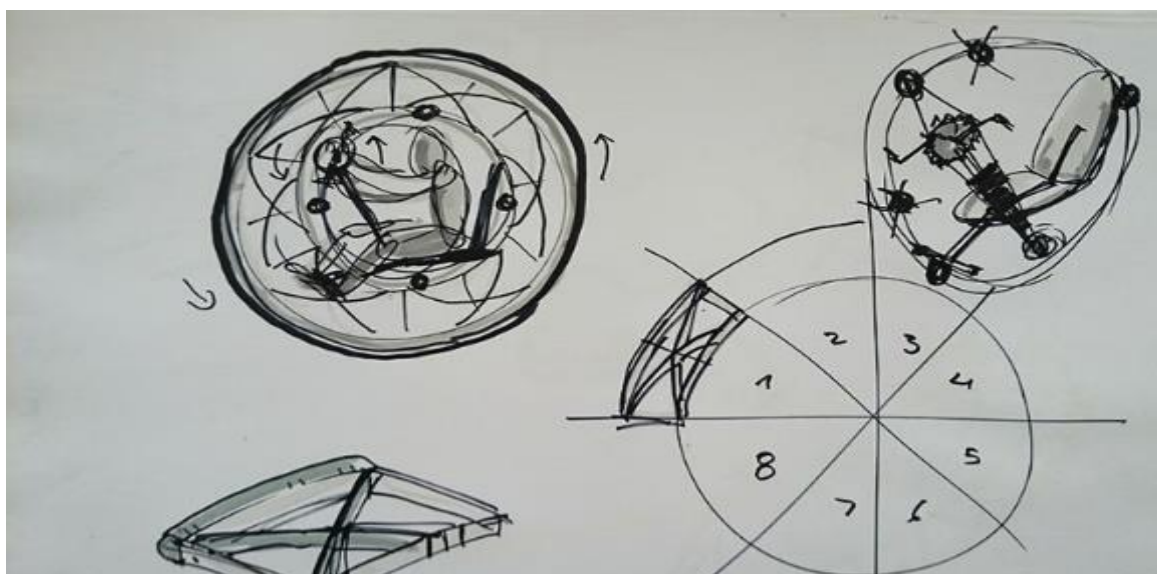


Figura 91 Redesenho do Monovelo
Fonte: Elaboração Própria

As primeiras modelagens elaboradas no *SolidWorks* estudaram as articulações de duas rodas com a cadeira fixa no anel interno do giroscópio. Depois de modelado o Monociclo e o Giroscópio, fez-se a fusão dos dois modelos nas primeiras versões da Cadeira Inclusiva



Figura 92 Modelagens da Cadeira Inclusiva
Fonte: Elaboração Própria

A fusão deixava a cadeira muito perigosa e uma casca foi elaborada para proteção do cadeirante. Após um refinamento da proposta, foi iniciado um processo de simplificação e eliminação de peças para viabilidade do projeto. O material escolhido foi a fibra de carbono que também iria compor as duas rodas que possuem amortecedores de choque, feitos com elipses interconectadas. O modelo paramétrico sofreu alterações nos componentes para que a fabricação caseira fosse viável. Após a modelagem iniciou-se um processo de eliminação de peças e diminuição das rodas e um novo estudo das articulações foi elaborado para deixar o projeto menos complexo.



Figura 93 Perspectivas da Cadeira Inclusiva
Fonte: Elaboração Própria

6.2.1 Desdobramentos

O desenho manual e a modelagem para métrica não apresentaram grandes problemas com a simulação e o uso de Modelos Dinâmicos de Representação (MDR).

Os problemas com os moldes continuaram; inicialmente pensou-se em fazer um molde circular para a rodas em MDF. O processo de CAM é feito rapidamente na oficina com horário agendado e a fresa não executa um molde circular com o mesmo acabamento. Algumas partes do molde apresentaram irregularidades. Seria preciso fazer uma simulação de usinagem mais demorada e com mais conhecimento sobre os tipos de fresas para acabamentos curvilíneos

O eixo foi outro problema; como fazer a união de diferentes materiais em um único ponto? Vários bicicletários foram visitados em busca de eixos e peças para uma possível adaptação, mas nenhum deles viabiliza a solda ou usina peças com eixo; as novas vêm da China e substituem as danificadas, sem nenhuma preocupação com considerações outras que a de as de praxe na sociedade de consumo.

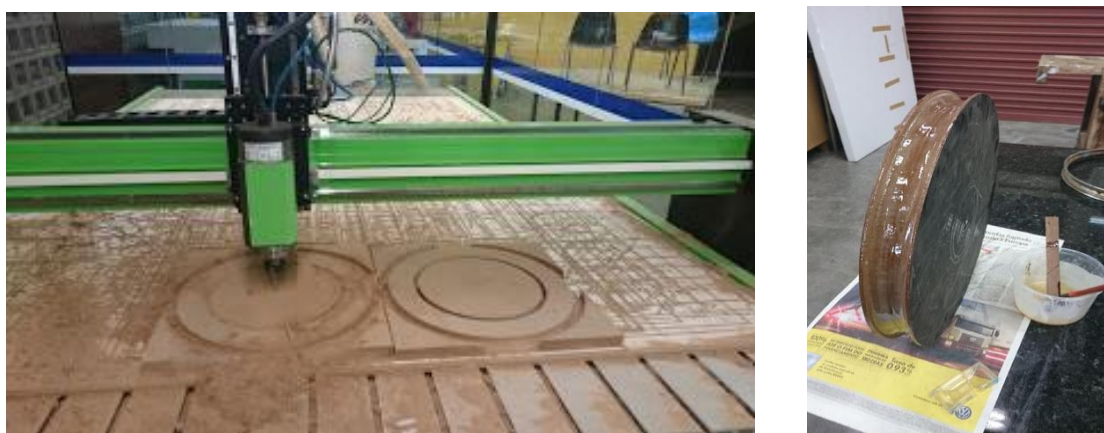


Figura 94 Usinagem do aro da Cadeira Inclusiva
Fonte: Elaboração Própria

Em Jundiaí, no interior de São Paulo, visitou-se o Sr. Uriel, soldador profissional que faz monociclos. Na sua oficina, ensinou a utilizar rolimãs em um mancal que ele mesmo solda sobre o garfo dos monociclos.

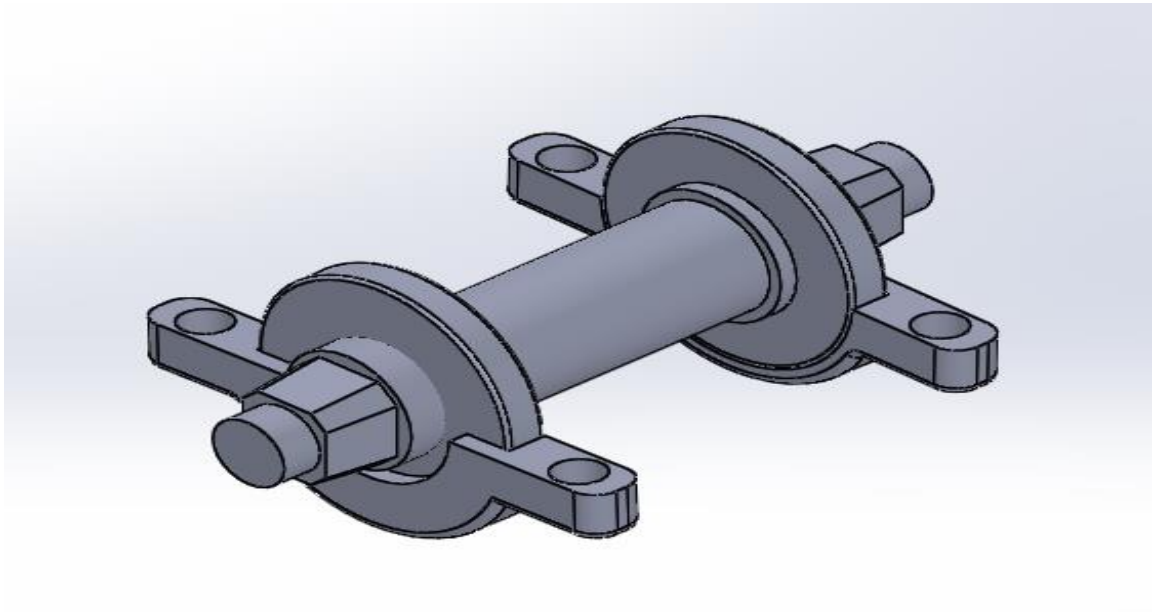


Figura 95 Modelagem do Eixo
Fonte: Elaboração Própria

Após a modelagem do mancal e dos rolimãs no Solid Works, o projeto da cadeira teve todas as condições de ser executado. Faltava apenas testar a bomba de vácuo que iria fazer a laminação dos materiais escolhidos. O curso da ALMACO de laminação a vácuo iluminou várias possibilidades e viu-se então que seriam necessárias algumas adaptações ao projeto.

6.3 *Workshop* no SIGRADI2015

Surgiu a oportunidade de ministrar um *workshop* no Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital (SIGraDi) que reúne arquitetos, urbanistas, profissionais de design e artistas relacionados às mídias digitais. As técnicas apreendidas no curso de laminação com saco de vácuo precisavam de um teste. Uma oportunidade de testar os conhecimentos do curso e aplicar em MDR com modelagem paramétrica.

O congresso foi realizado na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em novembro de 2015. Todo o material foi levado de São Paulo os trabalhos consumiram dois dias, com 4 alunos arquitetos e *designers* de várias escolas. Os professores tutores foram o autor desta pesquisa, além do doutorando Thiago Henrique Omena, da FAUUSP.

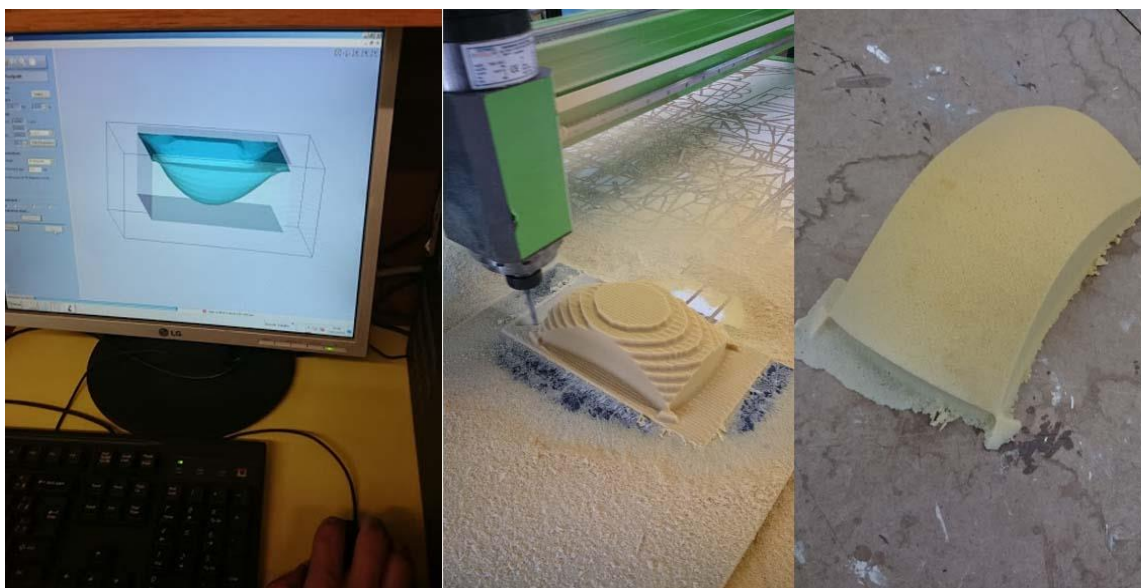


Figura 96 Modelagem do Molde do Domos

Fonte: Elaboração Própria

A ideia central era a de modelar cascas com várias metodologias e utilizar compósitos nos modelos. Toda a tecnologia de saco de vácuo foi adaptada para ficar portátil, com equipamentos leves que poderiam ser montados em qualquer lugar. Um filtro de resina foi feito em acrílico para reter o seu excesso.

Várias adaptações surgiram na execução dos modelos dos *workshops*, uma vez



Figura 97 Preparação dos Moldes

Fonte: Elaboração Própria

que os alunos fizeram três modelagens para fins comparativos; uma manual, outra

utilizando os *plugins* Kangaroo e Grasshopper e uma terceira com auxílio do *plugin* Rhino Vault. Estes modelos seriam depois seriados com os alunos.



Figura 98 Modelos do Workshop
Fonte: Elaboração Própria

Depois de dominar a metodologia, os alunos fizeram suas próprias cascas utilizando o aplicativo 123D Maker da Autodesk que foram depois cortadas a *laser*.

6.3.1 Desdobramentos

Os modelos foram previamente preparados com a aplicação do Gel Coat. Assim, pode-se evitar a produção dos molde no local do evento. Infelizmente, não houve controle da pressão de vácuo, os modelos seriados não tiveram a cura correta. O excesso de vácuo retirou o poder do catalizador adicionado à resina, e uma solução alternativa foi testada para curar as peças moldadas no *workshop*.

As improvisações feitas reduziram os custos da seriação e a substituição dos materiais importados por alternativas mais econômicas foi bem sucedida. Os cursos na ALMACO forneceram detalhes técnicos suficientes para o sucesso da moldagem em um laboratório bem equipado, mas a falta do regulador de pressão de vácuo comprometeu o experimento em oficina menos preparada. A falta do regulador de pressão só foi identificada após consulta aos técnicos e professores, ao frequentar, posteriormente, um novo curso na ALMACO.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento desta pesquisa focou o desenvolvimento de Modelos Dinâmicos de Representação (MDR) com o uso de Modelagem Algorítmica (AAD) como método de projeto em Arquitetura e *Design*. Os diferentes territórios disciplinares que envolvem essa pesquisa estão disponíveis em cursos rápidos, permitindo que um usuário sem grandes conhecimentos dos meios de representação digitais aventure-se a explorar e a beneficiar-se para melhorar sua experiência de desenho e projeto.

A pesquisa pontuou momentos de grande evolução no processo de projeto em áreas que sofrem mais pressão, porém, estão envoltas em segredos comerciais e militares. Por detrás desses avanços, há sempre mestres dedicados e com sentido visionário que, mesmo com pouco ou nenhum investimento, fizeram a diferença e colocaram o projeto e a inovação no seu devido lugar.

As crises financeiras e as pressões ambientalistas trazem um ambiente de pessimismo, mas empresas, laboratórios e escolas visitadas não foram refratários. Encontrou-se apoio, motivação e auxílio para a conclusão de projetos complexos que precisam de tecnologia de ponta para existirem no mundo real.

Os *workshops* frequentados fizeram repensar o método de projeto, assim como os alunos e professores encontrados tiveram preocupações semelhantes, o que fortaleceu os laços de amizade e cooperação entre todos.

O raciocínio através de códigos e da programação é de progresso lento mas possibilita liberdade de expressão e maior controle do desenho nas etapas de projeto. Uma vez assimilado, este raciocínio se desenvolve rapidamente com a troca de informações em grupos de discussão e ajuda fácil.

Conseguir concretizar as hipóteses dessa pesquisa foi uma tarefa de anos de docência e investigação, notando-se que a primeira parte, aquela relacionada aos sistemas digitais, durou cinco anos, com dedicação ao estudo do aplicativo Rhinoceros e de seus *plugins*; Grasshopper, Kangaroo e Karamba, que o tornam paramétricos. A segunda parte da pesquisa foi iniciada devido ao baixo investimento e descrédito que o laboratório de informática tem na Arquitetura. Para muitos educadores a situação

melhoraria se a escola fornecesse um *laptop* para cada aluno ou, ainda, um celular com acesso à Internet.

A docência em relação aos novos meios de representação fica ainda mais comprometida em razão da ideia equivocada de fornecer aos alunos, logo no primeiro ano, régua, compasso e escalímetro, como os principais meios de representação, que são estáticos e não se modificaram durante séculos.

No ensino em outras áreas, como na Engenharia e nas Artes Plásticas, o desenho como meio e processo é fornecido com ajuda de materiais flexíveis e de fácil manuseio. A pesquisa focou Arquitetos e Engenheiros que utilizam materiais “moles” como látex, gesso, *neoprene*, lã e tecidos com tramas. O diferencial desse material na educação pode ser potencializado com a máquina numérica desde que o conteúdo seja ministrado com o foco na programação. A lógica da programação e dos algoritmos se tornaram bem mais acessíveis com as novas linguagens e aplicativos.

O contato com laboratórios como o LAPAC-UNICAMP e o LAMO3D-UFRJ que têm uma visão diferenciada no processo de projeto foi importante para a reflexão desta pesquisa. Um laboratório para Arquitetura e *Design* deve ser bem equipado, com máquinas voltadas à produção e ao ensino, com investimentos, pesquisa e professores programadores de alto gabarito. A troca de informações e o direcionamento da pesquisa tiveram esses laboratórios como balizadores de um caminho a ser seguido.

Ao mesmo tempo que a programação possibilita uma grande evolução individual, o seu afastamento do currículo nos cursos de Arquitetura, *Design* e Urbanismo da FAUUSP, tornam opacos os conteúdos programáticos relacionados à lógica, ao desenho paramétrico, à abordagem algorítmica e aos estudos de novos materiais. A escola tradicional sempre olha a tecnologia como uma ferramenta, o que é um grande erro. Atualmente a materialidade da Arquitetura e do *Design* está impregnada da máquina numérica e de algoritmos; eles são partes constituintes da “obra”, independentes e autônomos, respondem ao ambiente sem a interferência humana.

É preciso pensar a máquina numérica como parte integrante da obra Arquitetônica e do *Design*, como uma computação embarcada, o que já ocorre nos carros, aviões, trens e navios. **Nestas áreas é impossível de conceber, ensinar, projetar, montar e pilotar sem o auxílio dos sistemas digitais.** Se na indústria automobilística e aeroespacial os sistemas digitais ajudam as aeronaves a decolar e a pousar, os carros a

estacionar e localizarem-se, em breve, eles estarão nos objetos, casas, edifícios e cidades. Adaptações ainda se fazem necessárias para que o Efeito Orloff das arquiteturas espetaculares não se volte para seus usuários com a preocupação e o aumento de custos.

Se as gerações passadas conquistaram a Lua, as futuras devem colonizar Marte e outros territórios. **A responsabilidade dessa “missão” recai sobre as escolas, porque elas são o primeiro abrigo depois da tempestade, do terremoto e do furacão que aumentam com o aquecimento global.** Cidades arrasadas por enchentes, lama e outros desastres são repaginadas pelas escolas e pelos educadores. Projetos de ecoescolas ganham prêmios importantes na Arquitetura porque são inovadores, mais pelo exemplo e impacto do que por traduzirem um reflexo da sociedade onde proliferam.

As experiências aqui propostas não tiveram sucesso em razão da dificuldade de se obter e de se adaptar conhecimentos que não são usuais em EAC. Porém, elas apontaram para pontos específicos que se direcionaram para cursos de aperfeiçoamento que devem fazer parte da grade curricular na forma de atelier, sejam horizontais, sejam verticais. Esses *workshops* tiveram grande importância para esta pesquisa, aperfeiçoando as técnicas que foram em outras oportunidades apreendidas.

Os desdobramentos desta pesquisa vão ser incorporados nas disciplinas optativas e do programa de Pós-Graduação que o pesquisador participa, esperando que num futuro próximo seja incorporada definitivamente à grade curricular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABMACO — Associação Brasileira de Materiais Compósitos. *Compósitos I — Materiais, Processos, Aplicações, Desempenho e Tendências*. São Paulo, 2008.

ALANÍS, E. X. de A. Félix Candela 1910-1997 O Domínio dos Limites Köln: Taschen, 2010.

AL-JAZARÍ, Ibn al-Razzaz. *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices* Trad. Donald R. Hill, Boston: Springer; 1974.

ANIL M.; ANOOP D.; ANAND S.; AASHI M. *Designing for Functionality*. In: *Product Development*. Dursun, T.; COSTAS, S. 2007.

ASHBY, M.; MILLER F. A.; RUTTER, F.; C. SEYMOUR; WEGST. U.G.K. *GRANTA Design Ltda. The CES EduPack Eco Selector*. Background Reading, 2009

ASHBY, M.; JONSON; K. *Materiais e design: arte e ciência da seleção de materiais no design de produto*. Trad. Arlete Simille Marques. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

BAHAMÓN, A. *Sketch: planejar e construir / planificar y contruir*. Barcelona: Instituto Monsa de Ediciones, 2005.

BANDEIRA, B. *Comparações entre os mecanismos com engrenagens do Séc. II a C a 1221/2 d.C.* In: *13º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia: anais*, São Paulo: FFLCH/USP, 2012.

BEURECUEIL, A. S. de; LEE, F. *Arquitetura Generativa High-low: princípios e aplicações*. In: *Edifício Ambiental*. GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (Org.) São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

BILLINGTON, D. P.; GARLOCK, M. *Heinz Isler and "Natural" Forms for Shells* (Conferência). *Structures and the Urban Environment*, Princeton University. Disponível em <<http://www.curee.org/CASCE-5/Lectures/L0006.html>> - Acessado em novembro de 2015.

BONSIEPE, Gui. *Teoria y Práctica Del diseño Industrial*. Barcelona: Gustavo Gilli, 1978.

BUCCI, F.; MULAZZANI, M. Luigi Moretti: *Works and Writings New York*. Princeton Architectural Press, 2002.

BUORO, A. B. A et. al. *Certificação Ambiental de Edifícios*. In: GONÇALVES, J. C.S.; BODE. K. (Org.) *O Edifício Ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

CHILTON, J. *The Engineer's Contribution to Contemporary Architecture: Heinz Isler*. London: Thomas Telford Press, 2000.

_____. *Form-finding and fabric forming in the work of Heinz Isler*. Nottingham: Department of Architecture and Built Environment, University of Nottingham, 2012

CAVALCANTI. *Posicionamento de um Pêndulo Invertido Usando Algoritmos Genéticos*. SBA Volume 10, número 1, 1999.

CELANI, M. G. *CAD Criativo*. São Paulo: Editora Campus, 2003.

_____; C. VERZOLA, C. E. *Scripts em CAD e Ambientes de Programação Visual para Modelagem Paramétrica: Uma Comparação do Ponto de Vista Pedagógico*. Salvador: TIC, 2011.

_____; et. al.. *A Gramática da Forma como Metodologia de Análise e Síntese em Arquitetura*. In: CONEXÃO –COMUNICAÇÃO E CULTURA. Caxias do Sul: UCS, 2006.

CLARO. M. A.; JORDÃO, L. C. S. *O Ensino Em Projeto de Arquitetura Frente Às Inovações* In: *O Ensino de Arquitetura e Urbanismo: Encontro Nacional Sobre Ensino de Arquitetura e Urbanismo Teoria e Prática*. XXXIII ENSEA. Universidade do Vale do Itajaí, 2014.

GIANNELLA, L. *Eu sou você amanhã". O efeito "orloff" do Museu do Amanhã*. In: *Blog Do Fórum Comunitário Do Porto*. Disponível em: <<https://forumcomunitariodoporto.wordpress.com>> - Acesso em dezembro de 2014.

DELATORRE, V. *Potencialidades e Limites do Bim no Ensino de Arquitetura: Uma Proposta De Implementação*. (Dissertação de Mestrado), Florianópolis: Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

DE GARMO, Ernst Paul; Black, J. Temple & Kohser, Ronald H. *Materials and processes in manufacturing*. 8th ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.

DURSUN, T.; COSTAS, S. *Recent Developments in Advanced Aircraft Aluminium Alloys*. In: *Materials & Design*. Elsevier, 2013.

FARIN, G. E., HOSCHEK J.; KIM M. *Handbook of Computer Aided Geometric Design*, Amsterdam: Elsevier Science, 2002.

FITCHEN J. *The Construction of Gothic Cathedrals: A Study of Medieval Vault Erection*. Chicago: University of Chicago Press, 1961.

FLUSSER, V. *O Mundo Codificado*. São Paulo: Cosac Naify, 2007.

GALILEU GALILEI *Diálogo sobre os dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico E Copernicano*. São Paulo: Discurso Editorial/ Imprensa do Estado, 2004.

GALILEU NEWTON, *Os Pensadores*. (Coleção). São Paulo: Nova Cultural, 1987.

GARLOCK, M. E. M.; BILINGTON, D. *Felix Candela Engineer, Builder, Structural Artist*. Princeton Art Museum- London: Princeton Museum & Yale University Press, 2008.

GLEISER, M. *A Ilha do Conhecimento Os limites da Ciência e a Busca por Sentido*. Rio de Janeiro: Record, 2014.

GODOI, G. *Sistemas Generativos de Projeto: Um Estudo de Campo em Monte Alegre do Sul*. (Dissertação de Mestrado). Campinas: Unicamp/FEC, 2008.

GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (Org.) *O edifício Ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

GRANTA DESIGN LTD. *CES Selector Materials Selection Software*. University of Cambridge. Acessível em <<http://www.grantadesign.com>> - Acesso em dezembro de 2015.

HALL, Stuart, *Da Diáspora Identidades e Mediações Culturais*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2003.

JABI, W. *Parametric Design for Architecture*. London: Laurence King Publishing, 2013.

JONATHON, A.; JACKSON, M. *On the Spline: A Brief History of the Computational Curve*. In: INTERNATIONAL JOURNAL OF INTERIOR ARCHITECTURE + SPATIAL DESIGN APPLIED GEOMETRIES. ASD Publications, 2014.

KANITAR, F.P. *Análise do Desenvolvimento dos Sistemas CAD/CAE/CAM no Brasil nos Diversos Setores do Conhecimento sob s Ótica da Propriedade Industria*. (Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro: Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), 2005.

KARANA, E. *How Do Materials Obtain Their Meanings?* Ankara: Journal of the Faculty of Architecture - Middle East Technical University METU JFA 27, 2010.

KARANA, E.; HEKKERT P.; KANDACHAR P. *Materials & Design. Material Considerations in Product Design: A Survey on Crucial Material Aspects Used by Product Designers*. Delft: Faculty of Industrial Design Engineering, Delft University of Technology, 2008.

KILIAN A.; OCHSENDORF, J. *Particle-spring Systems for Structural Form Finding* In: *Journal Of The International Association For Shell And Spatial Structures— IASS v. 46*), n. 147, 2005. Disponível em <<http://designexplorer.net/newscreens/cadenarytool/KilianOchsendorfIASS.pdf>> Acesso em dezembro de 2015.

KIERAN, S.; TIMBERLAKE, J. *Refabricating Architecture. How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction*. New York: MacGraw-Hill, 2004.

KOEHL, Mathieu. *Modèles et méthodologies de saisie pour maquettes numériques 3D*. Revue XYZ, 97:37-43, 2003.

KHUDHAIR, A. M.; FARID M. M. *A Review on Energy Conservation in Building Applications with Thermal Storage by Latent Heat Using Phase Change Materials Energy*. In: *Conversion and Management*. Auckland: The University of Auckland, 2004.

LIU, Frank W. *Rapid prototyping and engineering applications: a toolbox for prototype development*. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2008.

MAGRI, P. H. G. *A digitalização do design de mobiliário no Brasil: panorama e tendências*. (Dissertação de Mestrado) São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2015.

MARTINO, J. Andrade de. *Algoritmos Evolutivos como Método para Desenvolvimento de Projetos de Arquitetura*. (Tese de Doutorado) UNICAMP: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp —FEC, 2015.

MICROBERTS, Michael. *Arduino básico*. São Paulo: Novatec Editora, 2011.

MELLO, B. A. *Modelagem e Simulação de Sistemas*. Santo Angelo, 2007.

Mestres da Gravura. Coleção. (Curadoria) Fernanda Terra. Rio de Janeiro: Fundação Biblioteca Nacional, 2011.

MEREDITH M. *From Control to Design: Parametric / Algorithmic Architecture* London: AA/Mutsuro Sasaki Ed., 2007.

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

_____. *A Lógica da Arquitetura: projeto, computação e cognição*. Trad. Gabriela Celani. Campinas: Editora da Unicamp, 2008.

MOCKBEE, S. *Rural Studio*, In: O CAMPO AMPLIADO DA ARQUITETURA; ANTOLOGIA TEÓRICA 1993-2009. São Paulo: Cosac Naify, 2013.

MORAES L. VALLE C. *Um sketch sobre Sketches-Based Modeling*. (Relatório técnico). Rio de Janeiro: Instituto de Matemática Pura e Aplicada – IMPA, 2010. Disponível em <<http://www.visgrafimpa.br/>> - Acesso em novembro de 2015.

MOURÃO, N. M. *Sustentabilidade Na Produção Artesanal Com Resíduos Vegetais: Uma Aplicação Prática De Design Sistêmico No Cerrado Mineiro*. (Dissertação Mestrado). Belo Horizonte: Universidade Estadual de Minas Gerais, 2011.

OLIVEIRA, E. M. Reale de. *MADEIRAS PLÁSTICAS* (Dossiê Técnico). OLIVEIRA, In: *Madeira plástica* Instituto Euvaldo Lodi – IEL/BA 28/5/2013 Acesso ao Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. Disponível em < <http://www.respostatecnica.org.br>> - Acesso em dezembro de 2015.

OTTO, F. *Cubiertas colgantes*. Barcelona: Editorial Labor, 1958

OXMAN, R. *Theory and Design in the first Digital Age*. DESIGN STUDIES 27. Londres: Elsevier, 2006.

OSKOU V. N., *L'impensabile ed oltre Revit* In: *Tecnich Parametriche di Progettazione – TPP 2013*, Disponível em < esign.rootiers.it/tecniche2012/node/1177> - Acesso em dezembro de 2015.

POTTMANN, H.; ASPERL, A.; et. al. *Architectural Geometry*. Exton PA: Bentley Institute Press, 2007.

PRIGOGINE, I. *As Leis do Caos*. São Paulo: Editora UNESP, 2002

_____. *O fim das Certezas: tempo, caos e as leis da natureza*. São Paulo: Editora UNESP, 1996.

PIMENTA, Et. Al. *O Bóson De Higgs*. In: *Revista Brasileira de Ensino De Física*, v. 35, n. 2, 2013. Disponível em <<http://www.sbfisica.org.br>> - Acesso em dezembro de 2015.

RIOS, S.; CHICUREL R. ; DEL CASTILLO, L.F. *Potential of Particle and Fibre Reinforcement of Tyre Tread Elastomers* In; *Materials & Design Elsevier* v..22 n.5 , pp.369-374(6), 2001.

ROCHA, J. D. *Bio-óle Obtido por Hidrólise de Biomassa como Precursor de Materiais Carbonosos*. (Tese de Doutorado) Campinas: Unicamp, 1997.

ROLAND, C. Frei Otto. *Estructuras: estudios y trabajos sobre la construcción ligera*. Barcelona: Gustavo Gili, 1973.

RUSCHEL, R. *To BIM or not to BIM?* In: *iii Encontro Da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo Arquitetura, Cidade e Projeto: uma Construção Coletiva*. São Paulo: III ENANPARQ, 2014.

SILVA, V.G.; SILVA, M.G. *Seleção de materiais e edifícios de alto desempenho ambiental*. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE. K. (Org.) *O Edifício Ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

SALINGAROS, Nikos A. *Twelve Lectures On Architecture. Algorithmic Sustainable Design*. Umbau-Verlag: Solingen, 2010.

SCODECK, D. et. Al. *Digital design and manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design*, EUA: Jhon Wiley & Sons, 2005.

SHAW, R. *The Dripping faucet as a model chaotic system*. Santa Cruz: Aerial Press, 1984.

STEWART, I. *Os números da natureza: a realidade irreal da imaginação matemática*. Rio de Janeiro: Rocco, 1996.

_____. *Será que deus joga dados? — a nova matemática do Caos*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1991.

SYKES, A. K. (Org.). *O Campo Ampliado da Arquitetura; antologia teórica 1993-2009*. São Paulo: Cosac Naify, 2013.

SU, Jun-Feng, et. al. *Influence of temperature on the deformation behaviors of melamine-formaldehyde microcapsules containing phase change material*. In: *Materials Letters*. n. 84, pp 158-161. Elsevier, 2012.

SUN, L. ; HUANG, W.M.; DING, Z.; ZHAO Y., WANG C.C., PURNAWALI, H. ; TANG, C.. *Stimulus-Responsive Shape Memory Materials: a review* In: *Materials & Design*. n. 33: pp.577–640. Elsevier, 2012.

TEDESCHI, A., AAD. *Algorithms-Aided Design Parametric Strategies using Grasshopper*. Potenza: Le Penseur, 2014.

TERZIDES, K. *Algorithmic Architecture*. Oxford: Architectural Press/Elsevier, 2006.

_____. *Expressive Form A Conceptual Approach to Computational Design*. New York: Spon Press, 2003.

TUFAILE, A. *Estudo da Formação de Bolhas em Líquidos Viscosos (Uma abordagem usando a Teoria do Caos)*, Tese de Doutorado. São Paulo: Instituto de Física - USP, 2000.

VEZZOLI, C. *Design de Sistemas para a Sustentabilidade. Teoria, métodos e ferramentas para o design sustentável de sistemas de satisfação*. Salvador: EDUFBA, 2010.

VOLPATO, Neri (ed.). *Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações*. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

WANG, Y.; DUARTE, J.P. *Automatic generation and fabrication of design*. In: *Automation in Construction*, v11, n.2, p.291-302.2002.

WALTERS, J. K. *Blobitecture. Waveform architecture and digital design*. Massachusetts: Rockport Publishers Inc., 2003.

ZALBAA, B., MA MARÍN, J., CABEZA L. F.,; Harald MEHLING.. *Review on Thermal Energy Storage with Phase Change: Materials, Heat Transfer Analysis and Applications In: Applied Thermal Engineering*. Elsevier, n. 23 (3) pp. 251–83, 2003.