



**João Victor Azevedo de Menezes Correia  
de Melo**

**Processo de obtenção de formas baseadas  
em superfícies mínimas e formações naturais**

**Tese de Doutorado**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Design do Departamento de Artes & Design da PUC-Rio.

Orientador: Prof. José Luiz Mendes Ripper  
Co-orientador: Prof. Luís Eustáquio Moreira

Rio de Janeiro  
Março de 2017



**João Victor Azevedo de Menezes Correia  
de Melo**

**Processo de obtenção de formas baseadas  
em superfícies mínimas e formações  
naturais**

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de doutor em Design pelo Programa de Pós-Graduação em Design do Departamento de Artes & Design do Centro de Teologia e Ciências Humanas da PUC-Rio. Aprovada pela comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. José Luis Mendes Ripper**

Orientador

Departamento de Artes & Design – PUC-Rio

**Prof. Jorge Lopes dos Santos**

Departamento de Artes & Design –PUC-Rio

**Profa. Denise Berruezo Portinari**

Departamento de Artes & Design – PUC-Rio

**Prof. Lucas Ripper**

Escola Parque

**Prof. Ruy Pauletti**

USP

**Profa. Monah Winograd**

Coordenadora Setorial do Centro de  
Teologia e Ciências Humanas- PUC-Rio

Rio de Janeiro, 30 de Março de 2017

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **João Victor Azevedo de Menezes Correia de Melo**

Graduou-se em Desenho Industrial – Habilitação em Projeto de Produto na Escola de Belas Artes da UFRJ em 2007, Possuindo Diploma *Cum Laude* de Dignidade Acadêmica. É Mestre em Design pelo PPG- Design PUC-Rio, 2011. É professor agregado do departamento de artes e design da PUC-Rio desde 2013 e pesquisador do Laboratório de Investigação em Livre Desenho (LILD) da PUC-Rio desde 2008, onde desenvolve pesquisa sobre interações entre a linguagem eletrônica e a linguagem mecânica, e também sobre formações naturais, especialmente as superfícies mínimas das bolhas e filmes de sabão

#### Ficha Catalográfica

Melo, João Victor Azevedo de Menezes Correia de

Processo de obtenção de formas baseadas em superfícies mínimas e formações naturais / João Victor Azevedo de Menezes Correia de Melo ; orientador: José Luiz Mendes Ripper ; co-orientador: Luís Eustáquio Moreira. – 2017.

125 f. : il. color. ; 30 cm

Tese (doutorado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Artes e Design, 2017.

Inclui bibliografia

1. Artes & Design – Teses. 2. Design. 3. Biomimética. 4. Bambu. 5. Superfícies Mínimas. 6. Filmes de Sabão. I. Ripper, José Luiz Mendes. II. Moreira, Luís Eustáquio. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Artes e Design. IV. Título.

CDD: 700

À minha família, minha esposa e ao Miguelito, meu  
afilhado

## Agradecimentos

Aos meus orientadores, Prof. Ripper e Prof. Luis Eustáquio Moreira pela amizade, pelos ensinamentos, conversas e parceria para a realização deste trabalho.

À PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

À minha esposa Flávia Bueno, pela ajuda, apoio e carinho.

Aos meus pais, meu irmão, minha avó e meu sobrinho/afilhado, pelo apoio, esforço, carinho e incentivo ao estudo e à pesquisa.

Ao meu primo José Luiz Salgueiro Junior, pelo apoio e dedicação na captura e registro das bolhas e filmes de sabão.

Aos colegas do Laboratório de Investigação em Livre Desenho (LILD) da PUC-Rio: Pedro Leonardo, Daniel, Takao, Bianca, Patrick, Mariano, Betim, Mario, João Bina, Marcelo, Arísio, Juca, Lucas, Luís Eustáquio, Vicente Jesus, Argus, Lazaroni, Tiago e outros mais, pela colaboração e parceria na pesquisa.

Aos Professores Lucas Ripper e Nicolas Gomez, pela introdução ao mundo do bambu, ao LILD e ao Prof. Ripper.

Aos meus amigos, pelas conversas, desabafos, questionamentos, e claro, pela zueira.

Aos professores e funcionários do Departamento de Artes & Design, pelos ensinamentos, pela paciência e pela ajuda na construção da Tese.

## Resumo

Melo, João Victor Azevedo de Menezes Correia de; Ripper, José Luiz Mendes. **Processo de obtenção formas baseadas em superfícies mínimas**. Rio de Janeiro, 2017, 125p. Tese de Doutorado – Departamento de Artes & Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A união entre o conhecimento lógico acadêmico e a sabedoria popular espontânea vem resultando em uma série de objetos, nos quais a pesquisa destila informações para chegar cada vez mais próximo da popularização das arquiteturas leves baseadas nas superfícies mínimas. Procuram-se métodos de desenvolvimento de estruturas baseado na observação dos processos de crescimento contínuo das formações naturais. Para atingir esse objetivo alguns simples dispositivos são preparados para a geração de formas espontâneas, como as bolhas de sabão. Estas são controladas e manipuladas de modo a atingir parâmetros predeterminados de projeto, o que torna possível a visualização de potenciais geometrias que sirvam ao objeto almejado. Assim, essas formas são capturadas de modo a obter suas curvas da maneira mais clara possível. A combinação dessas capturas com os resultados dos cálculos no ambiente dos softwares torna possível a parametrização das formas o mais próximos possível das formas naturais. A obtenção e otimização dos cálculos numéricos que definem a geometria dos modelos em escala e de protótipos em escala de uso é fruto da interação de procedimentos artesanais e computacionais, que ampliam o escopo de entendimento do objeto. Esse método vem, atualmente, sendo experimentado e já resultou em alguns protótipos que foram colocados em uso de

diversas maneiras. Tanto formas sinclásticas como anticlásticas foram obtidas. A preparação dos materiais e suas partes, assim como as montagens e desmontagens dos objetos, em escala real de uso, foram conduzidas pela equipe do laboratório, sem a necessidade de ferramentas especiais ou complexas.

## **Palavras-chave**

Biomimética; Bambu; Superfícies Mínimas; Filmes de Sabão.

## Abstract

Melo, João Victor Azevedo de Menezes Correia de; Ripper, José. Luiz Mendes (Advisor). **Form finding process based on minimal surfaces and natural formations**. Rio de Janeiro, 2017, 125p. Tese de Doutorado – Departamento de Artes & Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

This union between logical academic knowledge and spontaneous popular knowledge has been resulting in a series of objects from which the research is gathering information to get as close as possible to an answer about the popularization of light- weight architecture. Methods for developing structures based on the observation of the natural formation's continuous growing process are being chased. Heading to this point, some simple devices are prepared to generate spontaneous shapes, such as soap bubbles and soap films. Those are controlled and manipulated to meet the predetermined project parameters and make possible the visualization of potential geometries for the intended object. Then, they are captured in order to obtain its curves. The combination between the captures and the results of software environment calculations make possible the parameterization of the shape as close as possible to the natural geometry. Interactions between artisanal procedures and computer work is found necessary to the obtainment and optimization of numerical calculation that define the geometry of scale models and prototypes, expanding the understanding of the object. This method is currently being experimented and the resulting objects were employed in a variety of ways. Both synclastic and anticlastic forms were

obtained. The preparation of the material and their parts, as well as the assemble and disassemble of them, in use scale, were entirely conducted by the lab`s staff, with no need of special or complex hardware.

## **Keywords**

Biomimetics; Bamboo; Minimal Surfaces; Sião Films;

# Sumário

1. Introdução	16
1.1. As Superfícies Mínimas	19
1.2. Frei Otto e o IL: estruturas leves baseadas em superfícies mínimas	21
1.3. As estruturas leves de bambu no LILD	23
1.3.1.O Domus do Sumaré	25
1.3.2.Andadores e Deslizadores: o início da Autoportância e Autotensionamento	26
1.3.3.Autotensionadas	27
1.3.4.Estande de exposição - Domo Tensegrity	29
1.3.5.Sombrinha	29
1.3.6.Cúpula catenária de fibrobarro	30
1.3.7.Capela de Andrelândia - Núcleo estrutural	31
1.3.8.Domo de base quadrada de Yvy Porã	32
1.3.9.Tenda de bambu e membrana têxtil	33
1.3.10.Tunis	34
2. Materiais e Métodos	36
2.1 A conjunção da sintaxe e da semântica do objeto: união indissociável	37
2.1.1.Método Interativo entre modelo mecânico e modelo eletrônico	41
2.1.2 Uma filosofia do modelo eletrônico	44
2.2. Estados de um objeto em pesquisa	53
2.2.1 Interações entre os Estados	53
3. Objeto Baseado na Geometria Inflada – A sala Bolha	57
3.1. Processo	57
3.2.Modelos em estado de uso concretizados	62
3.2.1. Primeira estrutura concretizada em estado de uso	62
3.2.2. Segunda estrutura concretizada em estado de uso	66
3.2.3 Terceira estrutura concretizada em estado de uso	68
3.3 Troca tecnológica com a PUC Valparaíso – Chile	70
4. Objeto Baseado na Geometria Tensionada	73
4.1. Aplicação do processo	74
5. Processo de obtenção de formas para estruturas de bambu baseado nas superfícies mínimas	81

5.1.	O Processo – Visão Geral	81
5.1.1.	Obtenção da forma	81
5.1.2.	Captura da forma	83
5.1.3.	Parametrização da Forma	84
5.1.3.1.	Parametrização por retícula triangular	85
5.1.3.2.	Parametrização por <i>grid</i> geodésico	86
5.1.4.	Concretização da forma	87
5.2.	Processo - o ponto chave: Captura	98
6.	Desdobramentos	99
6.1.	Sistema Modular	99
6.1.1.	Minha casa minha vida	99
6.1.2.	Experiência do Escritório Elemental - Habitação Social Quinta Monroy	100
6.1.3.	Proposta Conceitual	102
6.1.3.1.	Estudo Encaixe	103
6.1.4.	Vedação	105
6.1.4.1.	Pré-fabricação	106
6.2.	Superfície de produtos	108
7.	Considerações Finais	112
8.	Referências Bibliográficas	118

## Lista de Figuras

Figura 1 - Tenda Negra e suas soluções ancestrais simples em HATTA, Dubai, EAU	17
Figura 2 - Superfície mínima formada por um filme de sabão dentro de um perímetro de metal	19
Figura 3 - Bolha de sabão inflada sobre um dispositivo	21
Figura 4 - Bebe ainda na bolsa amniótica, superfícies mínimas de inflados (fonte: Dr. Aris Tsigris)	23
Figura 5 - Domus do Sumaré quando de sua construção (década de 1960) e atualmente	26
Figura 6 - Andadores e Veículos anfíbios	27
Figura 7 - Autotensionadas (Fonte: Mario Seixas - Projeto de Graduação em Design - PUC Rio, 2001 e Bambutec – Rio de Janeiro)	28
Figura 8 - Domo Tensegrity	29
Figura 9 - Sombrinhas de bambu distribuídas pelo campus da PUC-Rio, aproveitando técnica milenar chinesa.	30
Figura 10 - Cúpula catenária de fibrobarro	31
Figura 11 - Capela de Andrelândia, vista externa e vista interna	32
Figura 12 - Domo de base quadrada de Yvy Porã	33
Figura 13 - Tenda de bambu e membrana têxtil - Cobertura do novo LILD	34
Figura 14 - Tunis (fonte: LILD e Bambutec – Rio de Janeiro)	35
Figura 15 - Diagrama dos Estados de um Modelo (2011)	55
Figura 16 - Croquis para um primeiro conjunto de salas anexo ao prédio do Instituto de Relações Internacionais da PUC-Rio	58
Figura 17 - Croquis do corte transversal	58
Figura 18 - Espaço interno para uso. Comparação entre a curva da bolha, um arco de círculo, e uma curva catenária com as mesmas alturas e bases (de fora para dentro) em corte transversal	59
Figura 19 - Bolha de Sabão. Base em escala 1:50	60
Figura 20 - Processo de parametrização da forma	61
Figura 21 - Miniatura em escala 1:25	62
Figura 22 - Processo de montagem	62
Figura 23 - Teste de autoportância e mobilidade	65
Figura 24 - Objeto em uso durante a Rio +20	66
Figura 25 - Modelo em estado mecânico do esquema de tensionamento de membrana	67
Figura 26 - Segunda estrutura feita com fitas de bambu mossô, apresentando	

rede de cabos para tensionamento de membrana	67
Figura 27 - Fechamento com papel para simulação de membrana interna	67
Figura 28 - Estrutura deformada devido à ação do vento e umidade	67
Figura 29 - Modelo em estado eletrônico apresentando a cobertura de dupla camada e miniature mostrando a estrutura Tensegrity	68
Figura 30 - Modelo em estado mecânico do objeto separado em quatro módulos	69
Figura 31 - Módulos em montagem e em experimentação	69
Figura 32 - Módulos em transporte e em montagem	69
Figura 33 - Objeto montado	70
Figura 34 - Objeto em uso	70
Figura 35 - Grid montado e molde de areia	71
Figura 36 - Fibrobarro sendo preparado e aplicado	71
Figura 37 - Objeto finalizado	72
Figura 38 - Espaço interno após a retirada da areia	72
Figura 39 - Primeira cobertura do abrigo. Estrutura Tensegrity.	74
Figura 40 - Miniatura da estrutura sobreposta ao abrigo real	75
Figura 41 - Filme de sabão demonstrando a geometria geral do objeto	75
Figura 42 - Modelo em estado eletrônico demonstrando a parametrização da geometria	76
Figura 43 - Preparação das vigas em feixe	77
Figura 44 - Montagem da rede de cabos principal	78
Figura 45 - Infraestrutura	78
Figura 46 - Membrana compósita	79
Figura 47 - Aspecto final da cobertura	79
Figura 48 - Manipulação do dispositivo inicial	82
Figura 49 - Dispositivo secundário impresso em 3D	83
Figura 50 - Fotografia manipulada para a captura da forma	84
Figura 51 - Processo de parametrização por retícula triangular	86
Figura 52 - Processo de parametrização por grid geodésico	87
Figura 53 - Processo de concretização	89
Figura 54 - Aparato de condições de contorno e aparato de projeção feitos por Boys	89
Figura 55 - Aparato de superfícies mínimas do IL (BACH, et al., 1977)	90
Figura 56 - Comparação entre uma curva real do filme de sabão (vermelho) e a curva resultante de um software especializado (azul). Ambas as formas têm as mesmas condições de contorno.	91
Figura 57 - Comparação entre a superfície real do filme de sabão (vermelho) e a superfície escaneada do filme (azul)	92
Figura 58 - Hardware para a captura: nicho iluminado, placa transparente com retícula e elemento pivotante com marcações a cada cinco graus.	93
Figura 59 - Fotos posicionadas a 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40° e 45°	94
Figura 60 - Distorções óticas: Barrel, Pincushion, Wavy/Moustache (MANSUROV, 2013)	95
Figura 61 - Retícula ortogonal perfeita desenhada eletronicamente para o processo de contra deformação	96
Figura 62 - Imagem resultante do processo de contra deformação	96
Figura 63 - Captura feita pelo aparato do IL e captura resultante do processo digital proposto	97
Figura 64 - Splines desenhadas sobre a forma contra deformada	97

Figura 65 - Modelo em estado eletrônico	98
Figura 66 - Modelo em escala feito por splines impressas e modelo em escala cortado no laser como resultado de um modelo eletrônico	98
Figura 67 - Exemplo da tipologia 1 – Casa térrea. Padrão rígido, inflexível e imposto à população, carrega contradições do mercado imobiliário	100
Figura 68 - possibilidades descartadas para a VSDsD	101
Figura 69 - Etapas de Construção - Tipologia da "casa semiconcluída	102
Figura 70 - Módulo e constituição dos cômodos	103
Figura 71 - modo de encaixe entre os módulos	104
Figura 72 - Conforto Ambiental	104
Figura 73 - modelo em estado mecânico das possíveis organizações dos cômodos e módulos de vedação	105
Figura 74 - processo construtivo com fibrobarro	106
Figura 75 - modelo em módulos pré-fabricados	107
Figura 76 - modelos dos módulos pré-fabricados montados	108
Figura 77 - Perímetro impresso para captura	110
Figura 78 - Parametrização da superfície	110
Figura 79 - Relógio acabado	111
Figura 80 - Tenda de índios norteamericanos (Saux e Apache). Foto tirada em por K. T. Dodge em 1899 (HATTON, 1979)	117

# 1 Introdução

Abaixo da Linha do Equador, no período pré-moderno, antes da colonização do Norte, culturas baseadas em materiais vegetais viveram em harmonia total com seu meio ambiente. Suas construções eram autoportantes, leves e de fundações rasas. O trabalho humano despendido nessas estruturas era muito baixo devido, principalmente, à técnica aplicada.

As estruturas leves, conforme vem sendo feitas há milhares e milhares de anos, constitui um sistema de cobertura eficaz e simples, sendo adaptável a diferentes ambientes físico/geográficos (HATTON, 1979) (PAULETTI, 2003). Permite montagens e desmontagens constantes, e o transporte de maneira prática e eficiente para atender tanto as situações de culturas nômades tradicionais, ou as da vida moderna. As tendas tradicionais, por exemplo, eram geradas de maneira similar aos processos espontâneos naturais, ou seja, consumindo um mínimo possível da energia potencial existente no local (figura 1). Hoje em dia, nossa sociedade técnico/científica vem especializando esse tipo de cobertura para realizar megaestruturas. No entanto, essas construções de grande porte e alto carregamento, passaram a ser os modelos perseguidos desconsiderando, para os objetos de baixo e médio carregamento, as soluções simples das culturas ancestrais, trazendo uma sofisticação técnica desnecessária e de maior custo às tendas de menor porte.

Objetivando chegar a um meio termo entre esses dois momentos históricos das construções cobertas com membrana, a pesquisa no laboratório de investigação em livre desenho da PUC-Rio, busca unir o conhecimento lógico acadêmico, e a sabedoria popular espontânea, de modo a espalhar e popularizar estruturas leves idôneas passíveis de serem construídas artesanalmente em ambientes comunitários.



Figura 01 - Tenda Negra e suas soluções ancestrais simples em HATTA, Dubai, EAU

Nos seus cerca de trinta anos o LILD, antigo LOTDP, e seu parceiro o LASE – Laboratório de Sistemas Estruturais – EEUFMG, vem desenvolvendo técnicas adaptadas ao bambu e a terra crua em construções úteis, populares e de baixo impacto. Esses materiais naturais, de uso corrente no mundo desde tempos remotos, vêm sendo aplicados nas mais diversas culturas seguindo objetivos e modalidades variadas. Nota-se no ocidente uma tendência a incorporá-los às técnicas industriais vigentes e beneficiá-los como os materiais padronizados presentes na lógica de produção seriada. Com isso as potências particulares desses materiais da natureza, que se apresentam praticamente prontos para o uso, não são utilizadas. Assim esses materiais, uma vez padronizados, passam a ser

vistos/entendidos sempre da mesma maneira, não se oferecem mais ao desvelamento de suas potências infindáveis. No entanto encontramos alguns nichos de aplicação e pesquisa que, do ponto de vista ecológico e da ciência, trata com “bons modos” esses materiais.

A busca do grupo é por atualizar essas relações técnicas de produção primitivas, jogando-se com esses materiais e técnicas tradicionais, beneficiando-os em função dos recursos industriais disponíveis em determinada localidade. Especificamente, o que se tem feito é o desenvolvimento de técnicas de construção destinadas e apropriadas ao emprego de materiais terrosos e fibrosos que compõem as primeiras camadas da crosta terrestre, como o bambu e a terra crua. Portanto, tais materiais são de fácil obtenção – estão sob nossos pés e sobre a nossa cabeça – e de rápida utilização – estão praticamente prontos para o uso. São elementos que vem participando de diferentes culturas materiais desde tempos remotos.

Nos últimos anos, alguns protótipos de estruturas feitas de fitas e colmos de bambu foram gerados com geometrias de superfície mínima encontradas nas bolhas de sabão - que são formações espontâneas da natureza (RIPPER, CAMPOS, & MELO, 2011) (RIPPER, CORREIA DE MELO, & RIPPER, 2012) (CORREIA DE MELO, RIPPER, & TEIXEIRA, 2012). Esses objetos mostraram uma boa adequação aos preceitos acima citados, indicando um bom caminho para a pesquisa.

É bem sabido que as superfícies mínimas podem trazer uma série de vantagens no que diz respeito à geometria dos objetos constituídos de membranas e cabos (OTTO & RASCH, 1995). No entanto, o sistema construtivo que tensiona as membranas, no passado leves e de simples feitura, tornou-se, nos moldes industriais, excessivamente pesado e complexo, devido à escala das construções. Com isso as estruturas tensionadas de menor escala ficam dependentes de soluções técnicas importadas das estruturas maiores, que lhes servem de modelo, sem necessidade.

Esse lado pesado das estruturas leves reduz a possibilidade de aplicação desse tipo de tecnologia em arquiteturas de pequeno e médio porte. Nesse ponto, levanta-se uma questão: se o princípio da superfície mínima pode ser encontrado na menor e mais simples bactéria, até ao maior dos corpos astronômicos, por que os objetos humanos baseados nesse princípio não apresentam, na maioria dos

casos, esse universo de escalas e aplicações?

Tentando responder ao problema colocado, a pesquisa aqui tratada visa encontrar os métodos mais simples de concretizar estruturas baseadas em formações naturais, colocando lado a lado o conhecimento lógico acadêmico e a sabedoria popular espontânea.

Dessa maneira, propõe-se a conjugação de materiais naturais, como o bambu e a terra, em formas baseadas nas formações naturais, especificamente as superfícies mínimas das bolhas e filmes de sabão, buscando, assim, o princípio da leveza no objeto em vários níveis – material, forma, sistema construtivo -, que se acoplam e resultam em objetos utilitários mais adaptados à realidade física do mundo.

### 1.1 As Superfícies Mínimas

Superfícies mínimas são aquelas que, dadas certas condições de contorno, apresentam a menor área possível e sua curvatura média é neutra (DIERKES, HILDEBRANDT, & SAUVIGNY, 2010). O termo surge para superfícies que minimizavam áreas definidas, como, em um exemplo concreto, quando se coloca uma armação de arame dentro de uma solução com sabão. O filme que se forma por dentro dessa armação é a menor superfície possível dentro dos limites impostos por tal armação (figura 2).

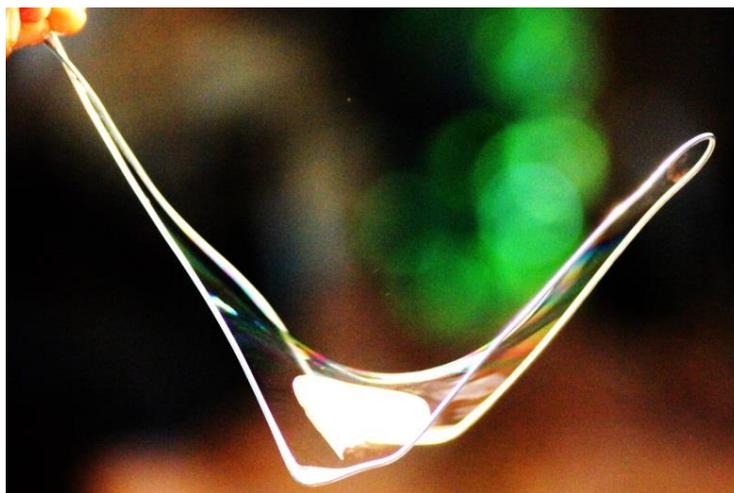


Figura 02 - Superfície mínima formada por um filme de sabão dentro de um perímetro de metal tridimensional irregular

Mais a fundo, na matemática, o termo é, também, usado para superfícies mais gerais que podem se auto interceptar ou não têm restrições. Para uma

determinada restrição também podem existir várias superfícies mínimas com diferentes áreas como, por exemplo, as superfícies mínimas de revolução: as definições padrão apenas se relacionam com um ótimo local, e não um ótimo global (DIERKES, HILDEBRANDT, & SAUVIGNY, 2010)

Como apontado por Moreira e Ripper (2008) e posteriormente por Correia de Melo (2011), o objeto surge *a priori* na mente do projetista. Contudo, corre-se o risco de a atividade projetiva permanecer somente nesse estado, teórico, estando o futuro objeto sujeito apenas aos “juízos semióticos, que já descartaram totalmente a coisa física, limitando-se a jogar com significantes e significados” (MOREIRA & RIPPER, 2008, p. 14). Para que o objeto em estado mental rompa com esses limites, é preciso que o mesmo interaja com os demais estados que esse objeto venha a ter (CORREIA DE MELO J. , 2011), principalmente aqueles presentes no meio físico como, por exemplo, o estado mecânico, no qual as soluções mentais existentes, até um determinado momento, são concretizadas em modelos físicos em escala reduzida, trazendo um tom de realidade às percepções. Portanto, as superfícies tratadas nesse trabalho são as do primeiro tipo, concretas, feitas com sabão e passíveis de manipulação pelo pesquisador.

Filmes de sabão sempre assumem formas de superfícies mínimas. Quando inflados, formam bolhas que, flutuantes, envolvem o máximo volume com a mínima área possível, tendo a forma de uma esfera perfeita (BACH, BURKHARDT, & OTTO, 1987); e se inflados quando apoiados em uma base rígida têm a menor área superficial em relação a essa base e ao volume englobado, formando superfícies sinclásticas (BACH, et al., 1977) (figura 3). Quando tensionados, formam superfícies mínimas por dentro de perímetros bidimensionais - gerando superfícies planas - ou tridimensionais - gerando superfícies anticlásticas. Em ambos os casos a membrana de água e sabão tem sempre a mesma tensão superficial em todos os pontos (BOYS, 1959) (BACH, et al., 1977) (BACH, BURKHARDT, & OTTO, 1987), o que faz que haja um movimento constante da água dentro da espessura da película, compensando sobre pressões locais do vento por rápida variação de espessura.

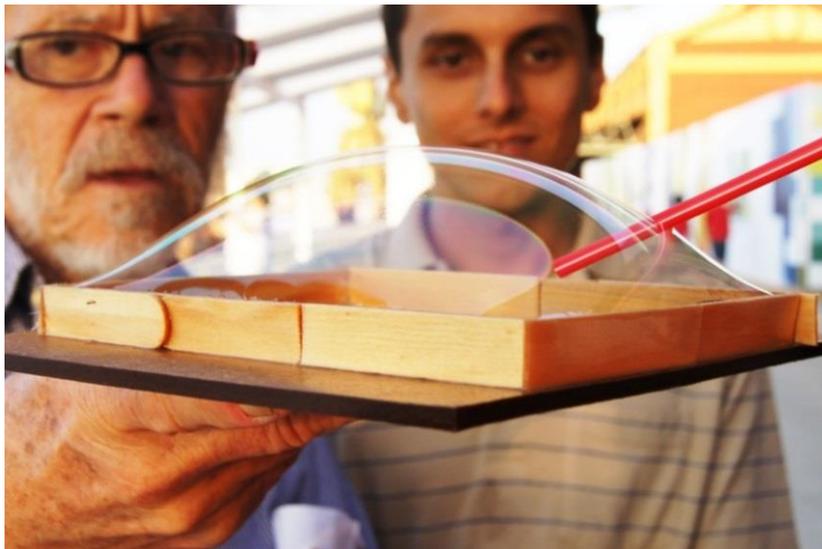


Figura 0381 - Bolha de sabão inflada sobre um dispositivo

A película de sabão é a “forma perfeita”, de conteúdo mínimo, donde resulta sua rápida existência, um ser para ser admirado e, como toda essência, é volátil. Mas essa organização não se furta ao olhar, e estrutura-se com água e sabão. Indo além dessa admiração, desse encantamento da bolha de sabão, por todas essas propriedades, essas superfícies mínimas podem ser melhor exploradas do ponto de vista da engenharia.

## 1.2 Frei Otto e o IL: estruturas leves baseadas em superfícies mínimas

Very seldom will the form of relatively light structures be accidental. Most of the time it is the result of developmental and optimization process which follow the principle of reducing their proper mass, for whatever reason. This is what we call lightweight principle. (OTTO, 1998, p. 11)

O arquiteto alemão Frei Otto, juntamente com o grupo de pesquisa ligado ao instituto que o mesmo dirigia, foi o precursor na utilização dos filmes de sabão como dispositivos de desenvolvimento de estruturas arquitetônicas de construção leve. Os experimentos com filmes de sabão iniciaram-se no desenvolvimento de tendas e pneumáticos, como forma de checar as tensões ótimas para a superfície dos objetos. Verificou-se que quando as formas se desviavam muito da área mínima, os objetos não só pareciam estranhos, mas eram, geralmente, mal construídos (OTTO & RASCH, 1995, p. 59). As arquiteturas baseadas nas

superfícies mínimas são bastante expressivas e, na maioria dos casos, integram-se muito bem com o ambiente ao seu redor, especialmente quando se trata de um ambiente natural. Um dos fatores que possibilita essa adaptabilidade e integração, pelo menos do ponto de vista estético (OTTO, 1998, p. 11), é o fato de elas seguirem – como demonstrado pelos grupos interdisciplinares de pesquisa SFB64 e SFB230, dos quais um dos membros era o instituto de estruturas leves da Universidade de Stuttgart (IL), dirigido por Otto - o mesmo princípio construtivo leve utilizado pela natureza viva: membranas tensionadas, especialmente as infladas (pneumáticas), que formam células, órgãos, e seres vivos como um todo (BACH, et al., 1977).

Objetos leves, ou construções leves, são aqueles capazes de transmitir forças com o mínimo possível de massa. Ou seja, o princípio da leveza estrutural visa se obter o máximo de resistência e confiabilidade com o menor peso, o que se traduz em menor consumo de energia na produção de um determinado objeto.

Em relação à forma desses objetos é muito difícil que ela seja “acidental”. Em sua maioria são formas que resultam de processos de desenvolvimento e otimização que buscam a redução da massa – desmaterialização – mas, mantendo a funcionalidade do objeto.

Esse princípio pode ser exemplificado principalmente nos objetos da natureza viva. Ao contrário do que se pensa a natureza não é perfeita, ela está em contínua mudança à procura de soluções cada vez mais adequadas e otimizadas às funções que deve desempenhar. A redução do custo energético do objeto e a redução relativa da matéria em sua constituição fazem do objeto natural construções leves - ou seja, frutos do princípio da leveza - e, conseqüentemente, suas formas refletem esse princípio (figura 4).



Figura 04 - Bebe ainda na bolsa amniótica, superfícies mínimas de inflados (fonte: Dr. Aris Tsigris)

### 1.3 As estruturas leves de bambu no LILD

O Laboratório de Investigação em Livre Desenho – LILD – do Departamento de Artes e Design da PUC-Rio vem desenvolvendo técnicas apropriadas para construções leves móveis e de baixo custo energético. As construções resultam da combinação de elementos chamados de unidade de jogo (MOREIRA & RIPPER, 2014), feitos de colmos ou fitas de bambu, fibras naturais e terra, e busca desenvolver formas com altos índices de resistência devido à conjugação forma/material. Em suma, sistemas que permitam montagem, desmontagem e remontagem, com o reaproveitamento total dos elementos utilizados e factíveis do ponto de vista econômico. Por fim, talvez o mais importante: que se viabilizem em práticas convencionais (ILLICH, 1976; CAMPOS & MELO, 2011; CORREIA DE MELO, YAMAKI, & RIPPER, 2012; RIPPER, LAZARONI & SOUZA, 2012), e sob o ponto de vista da adaptabilidade (OTTO et al, 1979).

Outro ponto importante refere-se à obtenção das formas que se utiliza na pesquisa do LILD: procura-se sempre observar o *continuum* informacional que nos é dado pela natureza (CORREIA DE MELO, RIPPER, & YAMAKI, 2012). A natureza faz suas formas independente do pesquisador. O que o homem tenta é parametrizar essas formações de modo a tentar reproduzi-las dentro de suas

capacidades técnicas.

No entanto, na maior parte dos casos, após encontrar, mesmo que parcialmente, alguns desses parâmetros, o homem volta-se a eles como verdades irrefutáveis. Isso engessa a técnica, limitando as possibilidades do trabalho conjunto com a natureza.

Por isso, no laboratório, procura-se ao máximo que o pesquisador seja despidido dos pré-conceitos técnicos através da experimentação prática em objetos colocados em nossa realidade concreta – modelos reduzidos, modelos em escala real e objetos experimentais em estado de uso (RIPPER & MOREIRA, 2004; CAMPOS & MELO, 2011; CORREIA DE MELO, RIPPER, & YAMAKI, 2012; RIPPER, CAMPOS, & CORREIA DE MELO, 2012). Essa prática é ainda mais impulsionada quando a experimentação se dá com elementos que apresentam formação natural, como é o caso das bolhas e filmes de sabão (BACH, BURKHARDT, & OTTO, 1987; OTTO & RASCH, 1995).

As formas dessas estruturas não são aquelas produzidas pela imaginação do homem. Utiliza-se, para descrever as geometrias destas estruturas, formas derivadas daquelas descobertas na natureza e obtidas por dispositivos colocados em interação direta com certos fenômenos naturais, como, por exemplo, o da gravidade, as pressões hidrostáticas, as tensões superficiais dos líquidos, entre outros (RIPPER & MOREIRA, 2004) (CORREIA DE MELO J. , 2011) (YAMAKI, 2012) (MOREIRA & RIPPER, 2014). Também são utilizadas as formas derivadas dos polígonos pitagóricos de faces iguais e estáveis como, por exemplo, o icosaedro.

Atualmente, está se viabilizando com as técnicas em desenvolvimento, vários tipos de estruturas autoportantes de bambu experimentais, que podem servir a edificações multiuso tais como: sala de aula, sala de reunião, sala de leitura, biblioteca, espaços de exposição para eventos, oficina, restaurante e outros.

A seguir são mostrados alguns objetos que são fruto da trajetória dessas experimentações e são diretamente relacionados, e responsáveis, pelo desenvolvimento do processo proposto por essa tese.

### 1.3.1 O Domus do Sumaré

As experiências do LILD no campo das estruturas tiveram seu referencial numa pequena construção destinada a ser uma casa domiciliar, desenvolvida e construída, em meados da década de 1960, pelo escultor Edgar Duvivier e contribuição do Prof. Ripper, fundador e coordenador do LILD, bem antes da fundação do laboratório.

A construção é semelhante a um “Chapéu de Sol”, um tipo comum de cogumelo existente no Brasil. O fuste da base é cilíndrico e o chapéu é uma casca estrutural hemisférica de 7,5 metros de diâmetro. Essa casca, parte essencial da construção, é composta pela conjugação de unidades pré-fabricadas artesanalmente. Tanto as unidades quanto os moldes foram feitos de resina poliéster reforçada com fibra de vidro, material recém-chegado ao país na época.

Trata-se de um domo geodésico curvo. No entanto, essa estrutura foi projetada e construída sem informação sobre os índices numéricos encontrados e utilizados por Richard Buckminster Fuller na confecção das grandes geodésicas por ele concretizadas. Nesse caso, o sistema desenvolvido para a obtenção das medidas e posicionamentos foi intuitivo e prático. Sabendo-se que o sólido com mais pontos projetados em uma esfera é o icosaedro, as arestas do mesmo foram sendo desenhadas sobre uma calota esférica com o auxílio de um compasso. Posteriormente, os demais pontos foram também marcados, e assim obteve-se a retícula geodésica, da qual se pode retirar as medidas e posições dos dois triângulos esféricos formadores da estrutura.

O objeto está hoje em bom estado, no mesmo local onde foi construído, demonstrando a resistência, durabilidade e leveza; resultados advindos da interação entre a forma e os materiais empregados na construção.



Figura 082 - Domus do Sumaré quando de sua construção (década de 1960) e atualmente

### 1.3.2 Andadores e Deslizadores: o início da Autoportância e Autotensionamento

No LILD, os trabalhos sobre estruturas autoportantes de bambu têm sua origem nos equipamentos destinados a portadores de dificuldades motoras (Figura 6). Esses equipamentos são veículos de bambu, leves, movidos pela força humana, feitos artesanalmente sob medida, concretizados e em contínuo aperfeiçoamento com técnicas especialmente voltadas para as condições estruturais do bambu.

Apresenta-se aqui alguns exemplos destes equipamentos feitos no LILD. Os andadores de bambu servem a crianças sem equilíbrio para andar, portadoras de paralisia cerebral. Eles têm sido feitos de vários tipos e com várias técnicas. As juntas dos tipos mostrados são baseadas na junta que Santos Dumont utilizava para a cestinha de seus balões, e foi esta solução de junta que viabilizou, mais tarde, bicicletas de bambu produzidas hoje na Dinamarca. Essas juntas possuem cabos tracionados ao longo do interior do colmo. Outro tipo de veículo mostrado é o deslizador anfíbio, que permite a cadeirantes ou outros portadores de dificuldades motoras, o deslocamento em locais onde a roda não funciona.

A observação do funcionamento desses equipamentos afere, não somente o potencial geral das técnicas utilizadas, mas também aperfeiçoam a condição de autoportância estrutural decorrentes dos deslocamentos, por vezes, violentos dos veículos.



Figura 06 - Andadores e Veículos anfíbios

O conhecimento adquirido com esses experimentos – ocorridos no meio social real – abre caminho para novas formulações de tipologias estruturais favoráveis a autoportância, que estão sendo ultimamente aplicadas em objetos de maiores dimensões. São estruturas para edificações que vêm sendo realizadas seguindo as mesmas condições de autoportância estrutural dos equipamentos citados, o que remete a fundações superficiais, ou seja, apenas pousadas na superfície do terreno.

Essas estruturas – chamadas de “núcleos de resistência” – não necessitam das fundações usuais ou de blocos pesados a céu aberto para ancoragens e vêm sendo utilizadas para tensionar membranas de cobertura e apoiar cascas estruturais, entre outros meios de vedação e climatização interna.

### 1.3.3 Autotensionadas

Os objetos menores, em geral, nos ensinam melhor o que eles são em comparação àqueles maiores e aos bem maiores que nós. Isso se deve muito às relações entre o homem e o objeto: em relação aos menores somos gigantes, dominamos o mesmo; em quanto em relação aos grandes, somos dominados por eles. A tenda tensegrity – projeto de graduação do designer Mário Seixas, PUC-

Rio 2011 - (Figura 7) feita para uma feira livre de produtos naturais, mostra mais uma vez a versatilidade, a eficiência, leveza e simplicidade mecânica deste tipo de estrutura, praticamente desconhecida nas instituições de ensino e pesquisa e também pelos profissionais que lidam com os objetos da obra humana.

Por ocasião da feira de produtos orgânicos em São Paulo, foi montada pela empresa Bambutec (parceira do LILD, dedicada ao design e locação de estruturas de apoio para eventos) uma estrutura em tensegrity feita de colmos de bambu e cabos sintéticos servindo de estande de apresentação comercial. A conjugação dos elementos rígidos com a rede de cabos foi especialmente estudada para permitir os tempos de montagem disponíveis no evento, cerca de 12 horas de trabalho, com quatro montadores especializados. Nesse sentido, os planos de montagem devem ser continuamente otimizados e estas estruturas autoportantes vêm se mostrando bastante adequadas para esses fins. Também foi feita uma análise estrutural do objeto (RIPPER L. A., CORREIA DE MELO, SILVA, RIPPER, GHAVAMI, & MOREIRA, 2013), que, portanto, representa a intensa parceria no desenvolvimento de objetos entre o LILD, o LASE e a Bambutec (MOREIRA, RIPPER, & CALIMAN, 2010).



Figura 07 - Autotensionadas (Fonte: Mario Seixas - Projeto de Graduação em Design - PUC Rio, 2001 e Bambutec – Rio de Janeiro)

### 1.3.4 Estande de exposição - Domo Tensegrity

Por volta do ano 2000, um trabalho de mestrado em Artes & Design (PUC-Rio) realizou uma estrutura dômica, feita de bambu do tipo *Philostachys Aurea* e inscrita em um hemisfério aproximado de 8 metros de diâmetro por 3,8 metros de altura. O objetivo foi criar uma sala totalmente escura que deveria ser montada e estacionada em várias localidades do Rio de Janeiro, para realizar certos experimentos públicos (Figura 8).

Graças a essa oportunidade pôde-se conhecer as possibilidades práticas desse tipo de estrutura: rapidez e facilidade de montagem (cerca de 3 horas), desmontagem e estocagem; transporte em veículos simples (carro popular) com rack. Nesse tipo de tensegrity cada bambu tem o seu cabo anexado, de modo semelhante ao do arco e flecha. A membrana de cobertura é pendurada e esticada na estrutura dômica (LEITE, 2003).



Figura 08 - Domo Tensegrity

### 1.3.5 Sombrinha

Por volta de 2003, buscava-se uma cobertura para as estruturas dos domos geodésicos de bambu em aperfeiçoamento no Laboratório, pois, nesse momento, passava-se a considerar esses objetos como núcleos de resistência e não apenas

como a forma emblemática considerada socialmente. Um dos objetos observados para tal fim foram as milenares sombrinhas chinesas – feitas de bambu e papel de arroz – que vinculadas ao domus, cobririam o espaço definido. As sombrinhas chamaram atenção por sua delicadeza, simplicidade estrutural e funcionalidade. A facilidade de acoplamento no domus foi demonstrada ao se fixar um guarda-chuva no modelo feito sob medida. Após alguns estudos em modelos reduzidos e determinação da modelagem do tecido empregado foram feitos três objetos experimentais com cinco e seis gomos. Esses modelos, em condições de uso, utilizavam colmos de bambu como hastes, junta central de aço e membrana de tecido de algodão (Figura 9).

As sombrinhas foram instaladas no jardim do campus da PUC-Rio, paradas no ar por meio de cabos tensores fixados nas árvores, testando-se, então, suas condições de usabilidade e comportamento aerodinâmico. Permanecendo no local por alguns meses, a sombrinha resistiu a ventos fortes e, devido as suas condições de ancoragem, movimentava-se com o vento na vertical (de cima para baixo) em deslocamentos violentos sem afetar sua estrutura (RIPPER & MOREIRA, 2006).



Figura 09 - Sombrinhas de bambu distribuídas pelo campus da PUC-Rio, aproveitando técnica milenar chinesa.

### 1.3.6 Cúpula catenária de fibrobarro

Trata-se de uma cabine que partiu da necessidade de ocupar os espaços de trabalho com objetos que sintetizem a função atual dos cômodos emparedados. Para tanto se imaginou módulos soltos no ambiente que exerçam funções distintas que necessitem estar em isolamento como: concentração no trabalho, dormitório,

espaço para meditação, estudo e conversa. À forma que conduziu a esta cabine foi estabelecida em um experimento de curvas catenárias que levaram a uma casca autoportante de fibrobarro revestido com resina de origem vegetal (PAES LEME & RIPPER, 2008). Posteriormente foi realizado um segundo experimento com uma ossatura de bambu armando a camada de cerca de um centímetro de espessura de fibrobarro (ALVARES, 2008). Ambos os experimentos, após o uso em meio situacional (em laboratório) mostraram-se idôneos.



Figura 10 - Cúpula catenária de fibrobarro

### 1.3.7 Capela de Andrelândia - Núcleo estrutural

Esse objeto foi a primeira aplicação no meio cultural de um domo de bambu amarrado com juntas em “giro” sendo usado como um núcleo estrutural (RIPPER L. A., CORREIA DE MELO, SILVA, RIPPER, GHAVAMI, & MOREIRA, 2013). A partir da geodésica são apoiados nos nós estruturais acréscimos laterais que geram beirais em forma de paraboloides hiperbólicos cobertos com terra crua pela técnica de taipa de mão. Sete anos após sua primeira montagem, foi necessária uma manutenção na cobertura de sapê. Optou-se, então, por uma substituição total da estrutura de bambu.



Figura 11 - Capela de Andrelândia, vista externa e vista interna

### 1.3.8 Domo de base quadrada de Yvy Porã

Esse objeto, montado em 2009 na Estação de Permacultura de Yvy Porã localizada em São Pedro d'Alcântara em Santa Catarina, tem sua origem no estudo das bolhas de sabão. Estas indicaram a possibilidade geométrica da geração de uma forma baseada na geodésica, porém, com base quadrada a ser montada através de técnicas convencionais e tecnologias acessíveis com materiais e mão de obra localmente disponíveis. O objeto serviu como cobertura de uma oficina experimental, sendo construído com bambus amarrados por cordas e revestidos de fibrobarro sobre um muro pré-existente de tijolos queimados apoiados em um alicerce de superadobe (CAMPOS & MELO, 2011). Esse objeto após certo tempo em uso sofreu um colapso devido à infiltração de água no alicerce, o que fez o muro se deslocar derrubando o objeto apoiado.



Figura 1283 - Domo de base quadrada de Yvy Porã

### 1.3.9 Tenda de bambu e membrana têxtil

Em meados de 2007, por motivo de mudança interna do estabelecimento do Laboratório, a estrutura em treliça espacial de elementos tubulares de aço que continha o LILD foi desmontada e remontada em outro local, ainda dentro da PUC-Rio. Restou projetar a sua cobertura dos patamares superiores e vedações para atender a nova configuração tomada pela remontagem da treliça espacial, que ficou como uma pirâmide truncada e invertida com 10 metros em sua base e 17,5 metros em seu plano superior. No caso da cobertura, uma tenda de bambu e lona plástica deveria ser instalada no plano superior da treliça espacial (Figura 13).

Nas investigações sobre a forma da cobertura, utilizaram-se experimentos com redes penduradas e funiculares, e com bolhas de sabão, com foco principal nas últimas. Estas foram sopradas em superfícies planas e induzidas pelos investigadores a obedecer a certos parâmetros estabelecidos como perímetros, alturas e outros. Logo ficaram estabelecidos os limites da forma, perímetro do plano superior e buraco central para ventilação e iluminação. A bolha de sabão conduzida por esses parâmetros, determinou um semi-toro de base quadrada com as curvaturas da superfície determinada pela superfície mínima da mesma. Baseado nessa forma foi feito um grande modelo com estrutura triangulada de bambu.

Na observação desse modelo, algo parecia faltar ou tinha de sobra: eram

os bambus excessivos na estrutura, tornando-a densa – 96 peças com seis tamanhos diferentes. Naquele momento, os bambus destinados à cobertura estavam em pé alinhados em fila, todos com 6 metros de altura, na grande parede da quadra esportiva que se ocupava provisoriamente. Nesse momento surgiu a pergunta: “porque corta-los? Porque não usa-los assim? ”. Dispensou-se o modelo pacientemente feito, e, modificando-se a geometria geral, os grandes bambus de 6 metros foram utilizados íntegros, ordenados segundo as linhas gerais da forma que a bolha apresentava, reduzindo os elementos da estrutura a 36 peças iguais (RIPPER, CAMPOS, & CORREIA DE MELO, 2012).



Figura 84 - Tenda de bambu e membrana têxtil - Cobertura do novo LILD

### 1.3.10 Tunis

Por ocasião da Semana do Meio Ambiente da PUC-Rio, em junho de 2011, foi montada uma construção leveira e temporária, denominada “Tunis” (Figura 14). Tal construção teve um duplo objetivo: servir como um espaço de exposição dos trabalhos do Laboratório e como um dispositivo para avaliar o comportamento mecânico e a forma que seria gerada quando uma rede de cabos coberta com “fibrobarro<sup>1</sup>” fosse tensionada (RIPPER, LAZARONI, & SOUZA, 2012).

O relaxamento, mesmo mínimo dos cabos, provocou na casca de

<sup>1</sup> Fibrobarro: material composto basicamente de terra crua e fibras naturais (LEME, 2003)

fibrobarro discretas deformações, não a ponto de abrir fissuras, mas de modificar os estados que garantem o funcionamento adequado do material. No entanto, acredita-se que esse comportamento se deve a natureza do cabo, necessitando mais experimentos acerca do assunto.



Figura 14 - Tunis (fonte: LILD e Bambutec – Rio de Janeiro)

## 2

### **Materiais e Métodos**

No LILD os estudantes são estimulados principalmente a desenvolverem uma atitude experimental em relação ao problema colocado. Para isso, recorre-se a concretização de modelos físicos do objeto proposto, durante todo o percurso de desenvolvimento do projeto. Ao invés do estudante utilizar somente conceitos já formulados, na captura de novos entendimentos do fenômeno amparados por imagens computadorizadas ou não, joga-se principalmente com a materialidade do mundo, com os materiais que serão informados pelas ações técnicas e intenções do designer.

Desse modo, perfaz-se uma continuidade na ação projetiva, não resultando o objeto de simples projeção de “*types*” que povoam a mente emissora. Ao contrário, a materialidade em transformação, participa com suas singularidades geométricas e físico-químicas, sob a ação dos campos eletromagnéticos e gravitacionais do entorno, no experimento particular que acontece, permitindo que se solidarizem as hipóteses consideradas, à natureza dos elementos em jogo.

Nesse caso, a discordância de alguma hipótese, no percurso do experimento, nunca é malvista, pois parte-se do princípio de que nas surpresas reside o aprendizado. Por outro lado, outras manifestações relevantes, são também exclusivas de experimentos, pois surgem das infinitas informações da fonte, ainda não oportunamente comunicadas por nenhum outro observador.

Catalogando imagens e explicitando-as na língua, pode o pesquisador tornar manifestas novas relações, ampliando o estado de segmentação do problema e o entendimento do objeto de estudos.

Nesse processo, o objeto, como meio organizador de um campo organizador, enquanto jogo de unidades observadas circunstancialmente, permite ao estudante/observador, uma apreensão fenomenológica e existencial, impossível de ser descrita, senão apenas vivenciada.

A produção do genérico, a partir dos experimentos particulares, constitui-se, para o LILD, na menos enganosa das maneiras de apreensão da realidade. Se o objeto em uso deve ser nosso leal companheiro, muitas vezes sujeito da situação, da qual nos tornamos objetos, nenhuma relação aproxima tanto o objeto

projetado, da sua condição final de uso, quanto o experimento imediato com modelos físicos.

Esses modelos físicos, depois de confeccionados, passam a integrar o acervo do laboratório. Esta exposição permanente, para ALVARES (2008), serve de referência nas novas pesquisas, visto que os objetos não estão “fechados” às funções as quais foram projetados, assim, outras especificidades podem ser geradas para atender novas demandas. É, portanto, importante despir os objetos de seus significados previamente atribuídos, para, dessa maneira resignificá-los, atribuindo-lhe novos significados e funções. O seja, o modelo físico permite a concretização de ideias e possibilita o surgimento de outras.

Outra característica marcante do LILD está ligada à sua estrutura física. Como explicitado por RIPPER & MOREIRA (2004) e reafirmado por ALVARES (2008), o laboratório não apresenta divisórias internas ou qualquer tipo de repartição, o que torna a circulação de informações e a integração entre as pesquisas muito mais rica e fluída. Derruba-se o mito da autoria, afinal, “hoje, ninguém faz mais nada sozinho, as coisas são desenvolvidas por muitos, a partir de inúmeros dados” (RIPPER & MOREIRA, 2004, p. 6).

## **2.1 A conjunção da sintaxe e da semântica do objeto: união indissociável**

Como proposto por MOREIRA & RIPPER (2014), podemos entender o objeto como um texto, ou seja, nele está presente uma estruturação, a sintaxe, que remete a conteúdos particulares, a semântica. Assim como o texto, o objeto só é entendido em sua totalidade por meio da união indissociável da sintaxe e da semântica, em outras palavras, quando sua organização estrutural técnica se refere ao uso cultural. No entanto, a sociedade pós-moderna e sua velocidade dominante (SANTOS, 2011) colonizam por meio da técnica, transformando esta no ponto central do objeto de uso: a sintática é imposta à cultura, ou melhor, às culturas. Dessa forma, o objeto é esvaziado de semântica, suas interações tornam-se pálidas, formais, o que por consequência, esmaece todo o espaço físico deixando-o sempre em estado de necessidade, onde objetos não são acionados, e

ações são impossibilitadas por falta de objetos (SANTOS, 2009). (MASSEY, 2009)

É certo que não podemos negar a capacidade criativa humana. Ao longo da existência, nossa espécie foi modificando o mundo ao redor para melhor adaptar-se ao ambiente hostil em que vivia. Através da instrumentalização e da projeção, técnica, o homem foi capaz de ocupar e explorar quase toda superfície terrestre, dominando e transpondo os mais diversos obstáculos naturais.

No entanto, a prática instrumentalista tecnológica foi deixando de lado um importante fator da mente humana: a reflexão. Essa prática instrumental, como apontam ILLICH (1976), e mais tarde FLUSSER (2011), desvalorizou a reflexão humana, transformando-se na grande verdade do mundo moderno. Nesse sentido, o instrumento deixou de servir ao homem, para que agora o homem sirva a esse instrumento.

A educação e a pesquisa, como nos mostram FREIRE (2011) e ILLICH (1976), tornaram-se ferramentas dessa expansão instrumentalista, moldando as novas gerações de acordo com as necessidades dessa prática, limitando, e muito, a real criatividade humana, fruto de sua reflexão livre sobre o mundo. Desse modo, essa prática não pode ser chamada conhecimento “pois os educandos não são chamados a conhecer, mas a memorizar o conteúdo narrado pelo educador” (FREIRE, 2011, p. 96) em detrimento da problematização do mesmo, o que criaria questionamento, diálogo e reflexão.

Por mais que o indivíduo possua “conhecimento acumulado”, sua experiência pessoal estará presa a essa concepção instrumentalista do mundo. Dessa forma, suas experiências aproveitam apenas uma fração das possibilidades existentes no universo, uma vivência curta e rígida aos paradigmas instrumentalistas. Começamos a entender, então, que apesar de, supostamente, a concepção formal autoral trabalhar conceitos concretos do objeto futuro, todo seu trabalho traduz-se meramente em um sistema de representação da realidade psicológica do autor, sistema de representação que, segundo HARVEY (1993), “é uma espécie de espacialização que congela automaticamente o fluxo da experiência e, ao fazê-lo destrói o que se esforça por representar” (p. 191). Sendo assim, passam não mais a servirem de uma janela para este mundo, mas tornam-se um *tromp- l'oeil*, ou seja, uma simulação desse mundo, e, então, o sujeito, ao invés de se servir das formas de sua realidade psicológica, autorais, passa a viver

em função destas. Para OTTO (1979), a sociedade instrumentalista quer conservar o existente, e pensa que pode fazer congelando-o, mas, na realidade, está matando a si mesma.

Enquanto isso, a natureza mantém um *continuum* informacional desde milhões e milhões de anos, produto de infinitos processos, adaptações e evoluções a ser visitado e desvelado. São formas biológicas e geológicas em contínua transformação, sujeitas ao desvelar do observador/pesquisador.

Assim, em conjunto com o pesquisador, ou à revelia deste, a natureza faz suas formas. O que o homem tenta é parametrizar essas formações de modo a tentar reproduzi-las dentro de suas capacidades técnicas. No entanto, após encontrar, mesmo que parcialmente, alguns desses parâmetros, nossa espécie voltou-se a eles como verdades irrefutáveis, deixando de lado todas as outras possibilidades. Ao engessarmos a técnica, limitamos as possibilidades do trabalho conjunto com a natureza.

Para SANTOS (2009), o sistema de objetos e o sistema de ações são formadores do espaço geográfico, ou seja, o espaço do homem. Trabalham de forma indissociável, para que um objeto exista no espaço, é impreterível a existência de uma ação, e vice-e-versa: “O espaço é formado por um conjunto indissociável, solidário e também contraditório, de sistemas de objetos e sistemas de ações, não considerados isoladamente, mas como quadro único no qual a história se dá.” (P. 63). No entanto, a ação a qual o objeto será submetido - por mais projetado e imbuído de significações que este seja - é individual, quer dizer, cada ser tem uma interpretação própria, advinda de suas realidades – social, cultural, ambiental e etc.- sobre tal objeto e seu uso.

Dessa forma, podemos afirmar, como visto em RIPPER & MOREIRA (2004), que “as formas artificiais podem ser vistas como representações das ideias. Muitas formas ao serem concretizadas, podem corresponder a uma determinada ideia.” (P. 7). No LILD, concretizam-se inúmeros modelos em formas e tempos diferentes, e, por vezes, essas concretizações permanecem dormentes, aguardando o momento certo de serem reanalisadas, pois a cada retomada, o objeto é visto de uma maneira diferente.

Complementado a definição que Santos dá sobre o espaço, MASSEY (2009) vai além e nos afirma que esse é fruto das interações. Cada indivíduo, assim como cada objeto, tem sua trajetória e suas relações. Tais particularidades

não são sobrepostas, mas, coexistem, e por meio de suas interações, vão delineando o espaço. Cada nova interação nos leva a um vislumbre diferenciado sobre o objeto, levando-nos a aprender mais sobre os mesmos, simplificando o entendimento de suas organizações.

Em contrapartida, como explicado por RIPPER & MOREIRA (2004), sente-se uma complexidade que emana do objeto em si, objeto esse que fica cada vez formalmente mais simples. Desse modo, “se a complexidade não está no formato do objeto, estará talvez nos processos de seu desenvolvimento. Isto porque as soluções emergem de uma trama tecida no tempo e no espaço, feita de informações, experimentos e ideias” (p. 7), ou, resumidamente interações, como nos aponta MASSEY (2009). Nesta trama de conteúdos confeccionada por meio das interações a que, não só objeto, mas também os pesquisadores devem responder, está a complexidade da construção do espaço. Dessa forma percebe-se que:

Deve haver, portanto, diante do objeto em constituição, um tempo de espera. Uma espera passiva, mental, em que se permite que a nossa percepção se adapte ao novo que concretiza uma trama intencional. Esta própria trama se alimenta com o concretizado e há um redirecionamento rumo aos objetivos estabelecidos a priori; e uma espera dinâmica, em que se manuseia o objeto em si, livre dos mesmos vínculos intencionais, para que ele se apresente também nesta dimensão, independente de seus compromissos com estes objetivos previamente estabelecidos (RIPPER & MOREIRA, 2004)

Vale lembrar que esse método interativo de aproximações sucessivas que é aplicado no LILD para a geração dos conhecimentos técnicos, objetivo da pesquisa, deve ser entendido em suas relações com os pressupostos e pré-requisitos conforme os utilizados no projeto de design. Os experimentos são conduzidos por esses antecedentes. Desse modo, são motivados, precedem e resultam de pensamentos dos pesquisadores que objetiva gerar conhecimento. Por outro lado, o que podemos chamar de experimento espontâneo, aquele que é feito sem intenções, não parte desses pressupostos. É uma modalidade de experimentação que não se baseia em antecipações, e pode ser comumente

apreciado na música e nas artes plásticas. A obra em execução, neste caso, é feita e refeita no próprio objeto em gestação. Essa modalidade de experimento acontece também dentro do método do LILD, mas esses experimentos espontâneos vindos diretamente da subjetividade individual do sujeito, não é, no caso do laboratório, a regra.

### 2.1.1 Método Interativo entre modelo mecânico e modelo eletrônico

Entender o objeto virtual, ou objeto em linguagem eletrônica, é uma missão relativamente simples, principalmente, como afirma KANT (2009), quando se trata de elementos já conhecidos. Segundo esse autor, “Nosso conhecimento tem duas origens principais na mente”: uma delas se caracteriza pela capacidade de receber as representações, já a outra “é a faculdade de conhecer um objeto por essas representações”; ou seja, enquanto um objeto nos é fornecido pela primeira, a segunda nos permite pensa-lo em relação a essa representação, “como pura determinação da mente” (KANT, 2009, p. 53). Definir este termo – virtual - no entanto, é de extrema complexidade.

Muito antes da existência da eletrônica moderna, a palavra virtual já existia na língua, tendo suas raízes no termo latino *Virtus*, que significa virtude, força, potência.

Ao ser trazido para a língua portuguesa, algumas outras definições para este vocábulo se apresentaram (SOUZA R. R., 2001): o que existe como faculdade, porém sem exercício ou efeito atual; que não existe como realidade, mas sim como potência ou faculdade; o que é suscetível de se realizar, potencial, possível; que equivale a outro, podendo fazer às vezes deste, em virtude ou atividade; o que está predeterminado, e contém todas as condições para sua realização.

Notavelmente, essas definições não fogem muito ao significado original da palavra, e continuam no âmbito do “potencial”, sem, sequer, mencionar fatores tecnológicos. Isso ratifica o pensamento de Pierre Lévy, que considera que antes das tecnologias eletrônicas (dos dispositivos técnicos), já existiam vetores de virtualização, tais como a imaginação, a memória, o conhecimento e a religião

(LÉVY, 2001). Consequentemente, pode-se inferir que o termo foi emprestado, o que torna possível entender sua derivação para o objeto eletrônico. O que é certo, afinal, é que ele não é uma entidade materializada em nosso espaço concreto, ou melhor, geográfico, porém, contém em si todos os dados, teorias e cálculos para que num futuro (potencial) venha a existir de maneira palpável.

Ao entrar na era dos meios digitais e das relações eletrônicas, novas definições se apresentam e um dos principais autores que trata desse tema é, o já mencionado, Pierre Lévy. Esse filósofo considera o virtual como um "complexo problemático, o nó de tendências ou de forças que acompanha uma situação, um acontecimento, um objeto ou uma entidade qualquer, e que chama um processo de resolução, a atualização." (LÉVY, 2001, p. 16), ou seja, começa-se a entender a virtualidade como um processo dinâmico de vir-a-ser. Nesse ponto, o antagonismo entre o real e o virtual é destituído, substituindo o primeiro termo por atual: "o movimento de atualização seria como a resolução constante do nó de tendências que constitui a virtualidade; a solução assumida a cada momento pelo que potencialmente a entidade pode ser; resolução do problema representado pela virtualidade. O real, por sua vez, se assemelharia ao possível." (SOUZA, 2001, p. 2).

Em contrapartida, ao analisar particularmente os modelos virtuais/eletrônicos tridimensionais depara-se com certa contradição nas interpretações acerca do termo acima discutido. Para o geógrafo Milton Santos o computador "não simplifica o que é complexo, mas contribui à sua apresentação simplificada, o que somente obtém à custa de um processo brutal de redução". O autor acrescenta, ainda, que, "para ser eficaz, o pensamento calculante exclui o acidente e submete a elaboração intelectual a uma prática onde a sistematização e a standardização impõem sua lógica própria, isto é, o domínio da lógica matemática sobre a lógica da história. É como se as matemáticas ganhassem vida própria (...) ou como se o espaço matemático se encarnasse materialmente" (SANTOS, 2009, p. 186). Dessa maneira, pode-se afirmar que a virtualidade está contida nos conceitos e interações que nortearão a confecção de um determinado modelo eletrônico e não especificamente nele.

Retornando as ideias de KANT (2009) sobre o entendimento, percebe-se que o modelo eletrônico é uma forma de visualização de conceitos pré-concebidos, esses sim virtuais - pelo fato de apresentarem infinitas possibilidades

potenciais - servindo como uma excelente ferramenta na destilação dos conceitos rumo à concretização física/geográfica do objeto. SANTOS (2009) teoriza que “com a tecnociência, tornou-se possível o método de estudo e antecipação, significado pela cibernética” (SANTOS, 2009, p. 182). Nesse momento, o objeto eletrônico é colocado alinhado ao campo do possível, que, como já afirmou SOUZA (2001), assemelha-se ao real. Para que esse objeto seja possível, além disso, é necessário que seja atual, o que, para LÉVY (2001), o torna antagônico ao virtual: “(...) a execução de um programa informático (...) tem a ver com o par possível/real, a interação entre humanos e sistemas informáticos tem a ver com a dialética do virtual e do atual.” (LÉVY, 2001, p. 17).

Outro fato que faz retornar aos ditos de SANTOS (2009) sobre a encarnação da matemática é a ordenação lógica da programação, que baseia a formulação de softwares de modelagem e a própria ação de modelar em tal plataforma. Esse sistema é baseado na matemática euclidiana/cartesiana, tendo sempre uma origem e três planos representados por x, y e z. Essas características implicam cuidados no ato da modelagem eletrônica: o trabalho é realizado em uma abstração do espaço multidimensional que nos cerca, que é codificado através da representação matemática clássica, para que seja possível utilizar uma interface bidimensional, a tela de computador, como uma plataforma de visualização. É evidente, portanto, que a representação eletrônica tolhe inúmeros dados para que seja possível a formatação em padrão euclidiano/cartesiano, o que impede, muitas vezes, a construção de geometrias que estão em desacordo com os arquétipos de tal sistema, limitando, e muito, o número de soluções – atualizações – do complexo problemático apontado por LÉVY (2001).

Por outro lado, o objeto eletrônico, ao tornar-se objeto físico/geográfico, outras potencialidades surgem. Retornando ao pensamento de SANTOS (2009), como já apontado, o sistema de objetos e o sistema de ações são formadores do espaço geográfico, e trabalham de forma indissociável, ou seja, para que um objeto exista no espaço, é impreterível a existência de uma ação, assim como o contrário. Isso faz crer que, por mais projetado e imbuído de significações, a ação a qual o objeto será submetido é individual, quer dizer, cada ser tem uma interpretação própria, advinda de suas realidades – social, cultural, ambiental e etc.- sobre tal objeto e seu uso. Ele carrega em si certa carga de predições; todavia, a interação com o indivíduo é única e pessoal, e ao analisar estas interações sob

um aspecto potencial, pode-se reconhecer a carga de virtualidade aplicada que LÉVY nos aponta: “virtualizar uma entidade qualquer consiste em descobrir uma questão geral à qual ela relaciona-se, em fazer mutar a entidade em direção a essa interrogação e em redefinir a atualidade de partida como resposta a uma questão particular. ” (LÉVY, 2001, p. 18). Como objeto físico/geográfico, e, por conseguinte, sujeito às leis naturais - tais como a gravidade, a radioatividade, etc. – tal objeto não é podado por sistemas matemáticos codificados pelo homem, sendo sua existência e, conseqüentemente, sua análise, cabíveis no âmbito de uma “matemática” natural, ou seja, que tende ao infinito, sendo muito mais amplo que o objeto eletrônico.

À luz dos fatos apresentados anteriormente, pode-se concluir que o modelo eletrônico deve ser analisado não como entidade virtual, mas como entidade de atualização, que irá responder à virtualidade que concebe o mesmo, lembrando-nos, dessa forma, a diferença entre semelhança e similitude apontada por FOUCAULT (1988):

A semelhança tem um padrão: elemento original que ordena e hierarquiza a partir de si todas as cópias, cada vez mais fracas, que podem ser tiradas. Assemelhar significa uma referência primeira que prescreve e classifica. O similar se desenvolve em séries que não tem começo nem fim, que é possível percorrer num sentido ou em outro, que não obedecem a nenhuma hierarquia, mas se propagam de pequenas diferenças em pequenas diferenças. A semelhança serve a representação, que reina sobre ela; a similitude serve a repetição, que corre através dela. A semelhança se ordena segundo o modelo que está encarregada de acompanhar e de fazer reconhecer; a similitude faz circular o simulacro como relação indefinida e reversível do similar ao similar. (FOUCAULT, 1988, pp. 61-62)

### **2.1.2 Uma filosofia do modelo eletrônico**

De acordo com SPITZ (1993), em sua análise sobre o papel da computação gráfica no ensino do desenho industrial - existem duas correntes de educadores que divergem sobre o uso e aplicação da tecnologia computacional gráfica quando da utilização da mesma por parte de alunos e profissionais da área de design. A primeira seria, o que a autora chama de corrente tradicional; e a

segunda seria a abordagem não tradicional.

O enfoque tradicionalista tende a considerar a computação gráfica como um apoio às mídias existentes. Sua utilização e abordagem seriam inteiramente instrumentalista, ou seja, “a Computação Gráfica é vista como uma ferramenta que auxilia as atividades desenvolvidas em outras disciplinas [...] de modo a se chegar – de forma considerada mais rápida e precisa – a resultados semelhantes aos [...] de outras tecnologias” (SPITZ, 1993, p. 104). Nesta visão são deixadas de lado as questões conceituais inerentes à tecnologia assim como a exploração de outras possibilidades envolvidas pela mesma. O designer é colocado apenas como usuário, um “chofer”, da tecnologia, e não como agente interativo e explorador.

Por outro lado, muitos autores da corrente não tradicional argumentam que o uso de computadores torna possível não apenas a extensão das habilidades físicas de um artista ou designer, mas principalmente de sua capacidade cognitiva (SPITZ, 1993). Ou seja, “as características peculiares a esta tecnologia permitem o surgimento de novas ideias ou informações durante o processo de design” (SPITZ, 1993, p. 105). A tecnologia é colocada, então, como “uma extensão da mente humana, e não da mão ou do olho humano” (SPITZ, 1993, p. 9). A computação gráfica é tratada, assim, por esta corrente, como meio de reflexão. Santos (2009) nos explica essa visão em outras palavras:

A nova situação antropológica, diz Alain-Marc Rieu, acentua o risco da prevalência do que ele chama de pensamento associado, produto mecânico da submissão às máquinas de pensar e contra o qual devemos mobilizar nosso pensamento crítico. [...] Rieu acredita que a informática fará voltar o tempo da filosofia, a única maneira de recusar o que Carneiro Leão, em seu livro *A Máquina e seu Avesso*, denomina de cegueira radical, uma maneira de ver subordinada às formas padronizadas e automaticamente processadas. (SANTOS, 2009, p. 187).

Apesar de distintas, vale lembrar, que na prática, ambas as correntes coexistem. SPITZ (1993), na conclusão de sua pesquisa, aponta tal coexistência dessas visões nos cursos de design, o que é reiterado por ALBUQUERQUE (2003) em pesquisa posterior.

Ao estudarem a implementação e funcionamento de disciplinas de computação gráfica em cursos de design, tais pesquisadoras observaram que estas disciplinas seguem uma lógica instrumentalista. O aluno, futuro profissional, é apresentado ao software como mais uma ferramenta midiática - tal qual a câmera fotográfica ou o papel e a tinta. Isso acontece, segundo Ettinger (1988, apud SPITZ, 1993), porque na vontade, e ansiedade, por aplicar em sala de aula esta nova tecnologia, não sobra tempo para que seja desenvolvido um estudo crítico dos valores fundamentadores desta área, colocando em segundo plano o entendimento do potencial da computação gráfica. Não ocorre, portanto, uma adequação do plano de ensino frente à nova tecnologia, formando assim, profissionais que tendem a focar o conhecimento apenas no software, suas lógicas e funcionamentos.

A velocidade, no entanto, com que a tecnologia de hardwares e softwares vem se atualizando e evoluindo, coloca em cheque esta visão de aplicação da computação gráfica na área de Artes e Design. Sem dúvida, ter o equipamento mais avançado impulsiona, e muito, o desenvolvimento projetual, porém, “não basta adquirir os equipamentos computacionais de última geração para garantir a atualização tecnológica. O cuidado que se deve ter é o de ensinar conceitos, e não habilidades” (ALBUQUERQUE, 2003, p. 47).

Sobre a utilização da tecnologia computacional gráfica de modo instrumental, Amorin e Rego fazem uma analogia à antiga função do desenhista copista:

[...] esse tipo de procedimento formará usuários com grande habilidade no emprego da ferramenta, sem, contudo, ter as condições necessárias à plena exploração das mesmas. Pode-se, por analogia, lembrar os desenhistas copistas, que embora tenham refinada habilidade para a produção de desenhos com os métodos tradicionais de representação, muitas vezes não são capazes de compreender o que estão desenhando. (AMORIN e REGO, *Graphica 98*, p. 257, apud ALBUQUERQUE, 2003).

Desse modo, percebe-se que a reflexão sobre o objeto representado deve ser colocada em primeiro plano, modificando assim o tipo de uso deste recurso, renovando a utilização do mesmo, conseguindo, enfim, abandonar o sentimento

atual de que a tecnologia da computação gráfica tem sido usada para fazer coisas antigas de formas novas, ao invés de ser usada para fazer coisas novas.

Em contrapartida, observa-se que os professores e alunos percebem essas novas possibilidades apontadas pela tecnologia no que concerne à cognição e reflexão do material ali editado. De forma não sistemática e de metodologia pessoal/particular, esses agentes compreendem a tecnologia computacional gráfica da mesma forma que a corrente não tradicionalista, e entendem que o computador é também – e não apenas - uma ferramenta, podendo ser utilizada de forma a enriquecer o processo de design, deixando claro, portanto, a afirmação de Spitz (1993), de que “a importância desta nova tecnologia está mais intimamente aliada às novas concepções de arte [e design] que ela possibilita, do que as mídias artísticas tradicionais.” (P. 9).

Analisando ambas as correntes, cabe ao designer/pesquisador refletir sobre o que busca com o uso da computação gráfica. É de amplo conhecimento os ganhos de tal tecnologia no que tange ao aspecto ferramental da mesma. O surgimento, a evolução, e a aplicação da tecnologia computacional gráfica possibilitou que inúmeros processos mecânicos fossem reduzidos, modificados, ou mesmo, eliminados do desenvolvimento projetual. As etapas de projeto, agora deixam de ocorrer de maneira linear e passam a coexistir de forma paralela.

Essa mudança de organização se dá quando se confecciona, ou melhor, se modela o futuro objeto em ambiente eletrônico, ou computacional. Essa síntese gera dados e parâmetros que servirão a várias etapas de um determinado projeto, assim como, poderão servir de base a projetos vindouros. Ou seja, ao conceber um desenho chave – ou modelo – gera-se informações suficientes para gerar, quase que automaticamente, inúmeros outros desenhos correlatos:

[...] através do computador, um mesmo desenho pode ser utilizado em diferentes fases desse projeto, desde o desenho técnico, a ser feito com precisão para um setor de produção ou construção, até uma imagem renderizada, que pode substituir um desenho ilustrativo, para demonstrar ao cliente ou a um leigo [ou ao próprio pesquisador], o aspecto de seu projeto [assim como novas visões desse]. (ALBUQUERQUE, 2003, p. 33).

Essa lógica não se aplica apenas a edição de desenhos. É possível

concretizar também modelos físicos com a base de dados gerada pela modelagem eletrônica. Pela parametrização obtém-se o conjunto de informações relativas ao posicionamento espacial das curvas e elevações formadoras do futuro objeto. Dessa forma é possível gerar arquivos a serem enviados a terminais que concretizam maquetes e mock-ups de peças projetadas através de processos de prototipagem rápida. Esses dados possibilitam também a fabricação de peças plenamente funcionais com a utilização de terminais compatíveis com a tecnologia de controle numérico computacional (CNC), modificando assim todo o diálogo e a comunicação entre projetistas e fabricantes.

Por outro lado, alguns dados inerentes à modelagem eletrônica, não são armazenados, nem podem ser interpretados pelo computador, pois são exclusivos do homem e de seu entendimento sobre o objeto – independente se físico ou eletrônico – que o mesmo manipula. Entramos agora no âmbito do intangível, pessoal e, às vezes, paradoxal.

A interatividade homem x máquina (computador) é uma comunicação bilateral: ao receber os inputs de dados, a máquina modifica a imagem no display, fazendo parecer ao usuário que a imagem muda instantaneamente, como resposta a tais ações. Dessa forma, “o usuário pode dar uma série de comandos, cada um deles acarretando uma mudança na imagem apresentada”, gerando assim “um diálogo entre usuário e computador” (SPITZ, 1993, p. 46).

Para que um diálogo seja viável pressupõe-se que a linguagem seja comum a ambos os interlocutores, ou que haja traduções mútuas, rápidas e contínuas das linguagens particulares, no caso, do Homem, e da máquina. O Homem insere dados (inputs) através de comandos de linguagem computacionais, ou botões (imagens) programados a exercer tais comandos. O computador então interpreta as indicações e responde ao Homem através de imagens no monitor de vídeo (outputs). Dessa forma, Flusser é quem melhor define tal ato de tradução, explicando que traduzir é “mudar de um código para outro, portanto, saltar de um universo a outro” (FLUSSER, 2011, p. 20).

O universo se apresenta em múltiplas dimensões espaciotemporais. Ao transformar esse universo em imagem, ou linguagem computacional que se transforma em imagem, o esforço é por abstrair essas várias dimensões do mundo, em detrimento a apenas duas que formarão essa imagem. Ou seja, a imagem é uma codificação do mundo em que se vive, uma representação que

traduz eventos em situações, e todo um processo em cenas fragmentadas (FLUSSER, 2011).

Nesse momento começa-se a entender, então, que apesar de, supostamente, trabalhar-se conceitos concretos do objeto futuro, todo o trabalho da computação gráfica - e mais a fundo, de qualquer imagem – traduz-se meramente em um sistema de representação, o que, segundo Harvey, é um tipo de espacialização que enrijece automaticamente o fluxo da experiência e, fazendo isso, acaba por destruir o que se esforça por representar (HARVEY, 1993, p. 191).

Para FLUSSER (2011), as imagens são mediações entre o homem, e o mundo que não lhe é acessível imediatamente. São, portanto, representações, e dessa forma, congelam o fluxo da experiência. Sendo assim, passam, não mais a servirem de mapa deste mundo, mas tornam-se um *tromp-l'oeil*, ou seja, uma simulação desse mundo, e, então, “o homem, ao invés de se servir das imagens em função do mundo, passa a viver em função de imagens” (p. 23). Ele não as decifra como significações de seu mundo, que, de tal maneira, “vai sendo vivenciado como conjunto de cenas” (p. 23). Dessa inversão surge, então, a idolatria, ou seja, a realidade passa a refletir imagens, “a imaginação torna-se alucinação e o homem passa a ser incapaz de decifrar imagens, de reconstruir as dimensões abstraídas” (p.24).

As imagens geradas pela computação gráfica, imbuídas da tecnicidade inerente ao aparelho gerador das mesmas, configuram o ponto mais alto desse paradoxo apontado por Flusser. Segundo tal autor esse tipo de imagem tem a função de “emancipar a sociedade da necessidade de pensar conceitualmente” (p. 33). Advinda de objetos técnicos, essa imagem, não imagina mais o mundo – como a imagem primitiva o fazia -, ela imagina conceitos, implícitos nesses objetos, que concebem imagens que imaginam o mundo, ou seja, está cada vez mais distante do mundo concreto:

Os modelos já não constituem uma transcendência ou uma projeção, já não constituem um imaginário relativamente ao real, são eles próprios antecipação do real, e não dão, pois, lugar a nenhum tipo de antecipação ficcional – são imanentes, e não criam, pois, nenhuma espécie de transcendência imaginária. O campo aberto é o da simulação no sentido cibernético, isto é, o da manipulação

em todos os sentidos destes modelos (cenários, realização de situações simuladas, etc.), mas então nada distingue esta operação da gestão e da própria operação do real: já não há ficção. (BAUDRILLARD, 1991, pp. 152-153)

Pensando o objeto técnico sob esse aspecto, passa-se, então, a perceber que se está limitado aos conceitos embutidos no mesmo. Trabalha-se então entre dois universos diferentes, o humano, real, e o universo do aparelho. O universo humano é, para o homem, infinito. Desconhecem-se seus limites, por isso mesmo, tenta-se codificá-lo, domesticá-lo. A fim de parametrizarmos seu funcionamento criamos regras, conceitos, sob os quais trabalhamos numa tentativa de domínio desse espaço- tempo (FLUSSER, 2007).

Em contradição, tentando-se parametrizar esse universo, criam-se pequenos saltos, reduzindo assim esse espaço-tempo, limitando a quantidade de peças formadoras. Cria-se então “microuniversos” que servem de referência para assumirmos um “pseudo-controle” de nosso mundo. São criados, então, aparelhos técnicos que “são pálidas simulações do pensamento humano” (FLUSSER, 2011, p. 97), e transforma-se toda a experiência e conhecimento em elementos permutáveis, programáveis e finitos. Entra-se em uma lógica onde o aparelho não serve ao homem, mas sim o contrário, pois este entra no “microuniverso” do primeiro, e é podado pelo limite de permutações programadas nesse objeto, invertendo o sentido de existência, como é demonstrado por Flusser sobre o universo fotográfico:

O gesto fotográfico desmente todo realismo e idealismo. As novas situações se tornarão reais quando aparecerem na fotografia. Antes, não passavam de virtualidades. [Ocorre uma] Inversão do vetor da significação: não o significado, mas o significante é a realidade. Não o que se passa lá fora, nem o que está inscrito no aparelho; a fotografia é a realidade. (FLUSSER, 2011, p. 54).

Essa é a grande problemática do uso da computação gráfica. O Designer, através das disciplinas, de computação gráfica, cursadas em sua graduação, insere-se nesse “microuniverso” do software, e do hardware, limitando-se as permutações embutidas, programadas, nos mesmos, o que traz uma homogeneização do trabalho deste profissional:

Aston sublinha o fato de esta tecnologia ter produzido um efeito de nivelção e homogeneização, que faz com que todas as imagens computacionais se pareçam, ao redor do mundo. Ele cita Martin Lambie-Nairn, que comentou que a computação gráfica se tornou semelhante ao Homem de Lata em O Mágico de Oz, brilhante por fora, mas sem um coração pulsando dentro. (SPITZ, 1993, p. 22).

O objeto técnico, no caso o computador – conjunto hardware mais software – torna-se o início, o meio e o fim do objeto futuro, pois ele nasce no microcosmo computador, é desenvolvido também aí, e o seu fim condiz a essa lógica. Cabe então à filosofia buscar uma reflexão sobre esse processo, e almejar a liberdade criativa do indivíduo. Desapegar do microuniverso do aparelho, utilizando-o apenas como instrumento de sua criatividade. Forçar a ferramenta à introdução de elementos humanos não previstos em sua programação, e de forma consciente, obter as imagens que lhe convém, e não as calculadas, programadas, pelo aparelho. Daí a grande importância do estudo dessa tecnologia de uma forma não tradicional:

OSTROWER (...) considera ser impossível programar ‘um referencial de valores de vida, de sentimentos e de experiências subjetivas porque este referencial não pode ser quantificado ou simulado por regras’, ou ‘preestabelecer as etapas e sequências de desdobramento formal, as alternativas e eventuais decisões e, finalmente, o término do processo [de criação artística]’

(p.202). Em sua visão, computadores são apenas instrumentos de trabalho que funcionam segundo regras definidas pelo ser humano. Ainda que surjam dados inovadores durante as operações computacionais, que levem a alteração do próprio programa, esta alteração também tem que estar prevista no programa computacional: não há como ultrapassar o alcance das tarefas concretas para as quais o computador foi concebido (p.191) (...) as formas criadas no computador 'não se definem e não adquirem caráter de maneira alguma, quer física ou psíquica, pois a linguagem é inteiramente artificial' (p.214) (SPITZ, 1993, pp. 22-23).

Para tanto, como visto, os pesquisadores devem ser estimulados principalmente a desenvolverem uma atitude experimental em relação ao problema colocado. Para isso, deve-se recorrer a concretização de modelos - nos mais diversos ambientes (físico, eletrônico...) - do problema proposto durante todo o percurso de desenvolvimento da pesquisa. Dessa forma, a reflexão e o desapego às convenções tradicionais irá extrapolar o microuniverso das tecnologias codificadas, e o pesquisador irá colocar-se filosoficamente frente a tais códigos utilizando-os em proveito próprio. Assim, pode-se perceber que toda a pesquisa é uma unidade, e que cada representação pode ser considerada uma estação de entendimento, que aguarda atualização futura. Fazendo uma analogia com os estados físicos da matéria, que também dependem da conjuntura em que estão, pode-se dizer que o objeto em pesquisa se apresenta, também, em estados, dispostos nas diversas ferramentas da pesquisa.

Ao analisar as ideias, concretizações mecânicas - como miniaturas e objetos de uso - e concretizações eletrônicas, utilizados no desenvolvimento das pesquisas, percebe-se que tudo isso está interligado, e, obviamente refere-se ao objeto estudado. Considerando esse objeto como um modelo, percebe-se que a pesquisa pode ser entendida sob um prisma de estados que esse modelo vem a ter.

Cada estado possibilita a análise do objeto pesquisado de acordo com diferentes visões particulares, ligadas às características próprias que cada um desses estados possui. Existe, no entanto, um estado ao qual todos os outros estão subordinados, e esse é o estado Mental.

## 2.2 Estados de um objeto em pesquisa

Cada estado possibilita a análise do objeto pesquisado de acordo com diferentes visões particulares, ligadas às características próprias que cada um desses estados possui. Existe, no entanto, um estado ao qual todos os outros estão subordinados, e esse é o estado Mental.

A ideia inicial está no estado Mental, que é a raiz do desenvolvimento, ou seja, o ponto de partida da pesquisa. Esse estado, inicialmente, é formado pelo entendimento, à priori, do pesquisador sobre o objeto/pesquisa a ser desenvolvido, e vai sendo enriquecido, e mesmo modificado, pelas respostas obtidas com o desenvolvimento dos demais estados que são três: o estado mecânico, o estado de uso e, o estado eletrônico (figura 15).

O estado mecânico refere-se aos modelos concretizados. São os modelos em escala reduzida, partes do objeto em escala real, mock-ups e modelos de estudo das tecnologias a serem utilizadas. O estado mecânico, ou miniatura, é o mais utilizado ao longo dos anos como forma de estudo e enriquecimento da pesquisa. Antes de ser uma representação do estado mental, o estado mecânico é, acima de tudo, um objeto concreto, e por conta disso, está sujeito a alguns elementos físicos que atuam no mundo, como a gravidade, a luminosidade, as intempéries, a ação do tempo, entre outros.

A experimentação tátil do modelo permite a observação de novos ângulos, a incidência da luz, a sensação de cheios e vazios e texturas. A manipulação direta dos materiais a serem empregados colabora no relacionamento deste com o pesquisador, trazendo mais intimidade e perícia na manipulação da técnica. Além disso, o modelo em estado mecânico, quando experimentado não só envolve o tato, mas também o olfato e outros sentidos. Com o aumento dos canais de informação na exploração ativa de um objeto, a experiência é reforçada pelo aumento do fluxo de impressões sensoriais. Estar familiarizado, por exemplo, com o cheiro dos materiais aplicados enriquece a pesquisa, e esta experiência é fundamental para uma melhor compreensão da forma e domínio de suas potencialidades.

O estado de uso é o objeto na escala real e preparado para que seja usado. Ele é também um objeto mecânico, porém, não se encaixa na definição anterior pelo fato de ser uma resolução do nó de tendências, presentes no estado mental,

mais apurada. Exatamente por isso, esse estado, normalmente, é posterior a todos os outros. Em grande parte dos casos, é como um resultado das respostas obtidas através dos demais estados. Por outro lado, também traz dados ao enriquecimento da pesquisa e, logicamente, do modelo mental. Nesse estado, é pertinente e prático utilizar a técnica e o material com toda precisão, resultando em modelos produtivos de fonte de informações. Ou seja, todas as trocas de informação estão em evidência.

O estado eletrônico, ao contrário dos outros estados, está fora do mundo mecânico, e logo, alheio as forças atuantes nesse mundo. Conceitos básicos como gravidade e temperatura podem ser facilmente distorcidos ou negados. As leis naturais, que se aplicariam ao modelo se este existisse no mundo real, não existem. No lugar, o objeto eletrônico reage apenas com as leis redigidas pela equipe programadora do software. O relacionamento do objeto eletrônico com o usuário será sempre através de um canal bidimensional, ou seja, a tela de um computador. Por outro lado, essa alienação em relação ao exterior, permite novas visões sobre o objeto estudado, enriquecendo, assim, a pesquisa.

Os estados sozinhos não conduzem a pesquisa. É na interação entre os estados que a pesquisa trabalha. Os estados funcionam como estações de entendimento sobre certo ponto estudado. São elementos de resolução da virtualidade, segundo a ideia do nó de tendências proposto por LEVY (2001), contida na pesquisa. Esses estados são como um resumo do que fora entendido até o momento de sua confecção, servindo, dessa forma, como novo ponto de partida, tanto para o estudo e resolução de novas questões assim como para clarificar e aproximar-se ainda mais da resolução de questões anteriores não resolvidas.

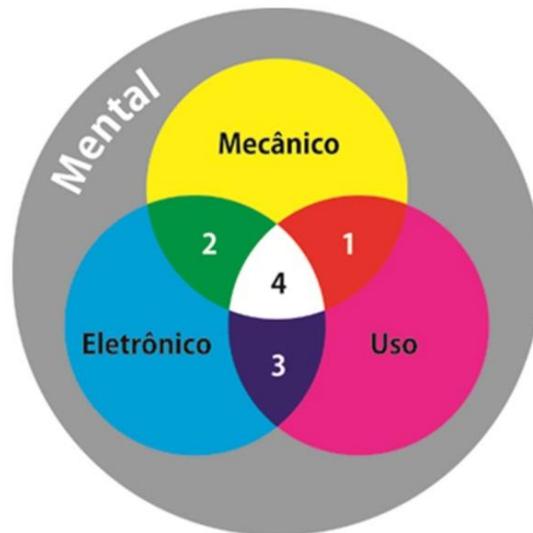


Figura 15 - Diagrama dos Estados de um Modelo (2011)

Dessa forma, entendemos que os dados inseridos na confecção dos diferentes estados, seja ele qual for, é o que movimenta e impulsiona a pesquisa em andamento. Por outro lado, os estados são fundamentais na obtenção de tais dados a serem inseridos. Destarte, podemos concluir que os estados se retroalimentam, dando subsídio a continuidade dos estudos. Entendemos agora que o responsável pelo andamento da pesquisa são as interações, como visto na figura 15, existentes entre os estados acima dispostos, e não cada um deles isoladamente

### 2.2.1 Interações entre os Estados

Essas interações ocorrem em vários sentidos e de várias maneiras possíveis. Não existe uma ordem ou uma direção apenas. Em contrapartida, como nos estados, existe uma primeira interação, que será sempre recorrente e colocar-se-á acima das demais: trata-se da interação entre o estado mental, e os demais estados individualmente.

Essa primeira interação é constante, intensa e ininterrupta. Podemos considerá-la como a reflexão inerente ao ato de confecção de alguma coisa. Sempre que estamos fazendo algo - nesse caso, modelos em estado mecânico, de uso, e eletrônico - refletimos sobre nossa obra, criando um diálogo entre nossa mente e o que estamos fazendo. Esse diálogo é o que encaminha tanto o desenvolvimento do estudo como os passos necessários a vencer as etapas de resolução do nó de tendências e possibilidades, levando à finalização, pelo menos

temporária, do que se está confeccionando.

Por outro lado, essas interações estado mental x demais estados individualmente, é incapaz de conduzir sozinha a pesquisa. Como dito, cada estado responde a certo tipo de característica necessário a resolução dos problemas encontrados quando do desenvolvimento da pesquisa. Se nos detivermos apenas nesse primeiro tipo de interação, avançaremos muito lentamente, quase que estagnados, visto que ficaremos detidos apenas a tais características inerentes aos estados de um modelo.

A partir disso, identificamos, então, que são as interações, que em conjunto com esta interação raiz, irão gerar dados para o enriquecimento e desenvolvimento da pesquisa do objeto. A partir disso, identificamos, então, que são as interações, que em conjunto com esta interação raiz, irão gerar dados para o enriquecimento e desenvolvimento da pesquisa do objeto.

Os modelos em estado eletrônico associados aos demais estados – mecânico e de uso – pode enriquecer a pesquisa de forma não apenas quantitativa (medidas, precisões), mas também qualitativa (novas visualizações, até então, inexistentes).

A tecnologia computacional gráfica traz novas visualizações à pesquisa. Tal tecnologia codifica as informações inseridas, em mídia bidimensional, dessa forma, passa-se a ter percepções planas sobre o objeto tratado, diferentemente do que ocorre quando se aprecia o objeto em sua concretude, dentro do mundo multidimensional.

Obviamente essas novas visualizações não substituem as anteriores, apenas acrescentam dados que expandem o escopo visual sobre o objeto tratado, apontando novas possibilidades e caminhos a serem seguidos pela pesquisa. Vale lembrar que tais visualizações só serão obtidas caso o pesquisador tenha consciência do objeto em sua concretude multidimensional, do objeto segundo as leis naturais, caso contrário não sairá do lugar.

Sabe-se que ainda existe um grande caminho investigativo a trilhar para se efetivar uma, real, sistemática de uso interativo entre as técnicas tradicionais e a tecnologia computacional gráfica, mas sabe-se também, que hoje em dia, essa interação é uma verdade irrefutável e que, com o advento, sempre constante, de novas pesquisas e novos softwares e hardwares, ela tem um grande e importante espaço reservado para si nas futuras pesquisas em design de objetos.

Então, parece claro que o *continuum* informacional da natureza, sempre em contínua transformação, está à disposição ao desvelar do pesquisador. Assim, para conhecê-lo, existem duas maneiras de prosseguir, como é apontado por C. V. BOYS (1959). Podemos perguntar a alguém que sabe, ou ler o que outras pessoas escreveram sobre tal coisa, o que é um plano muito bom se alguém for capaz de responder à questão; por outro lado, podemos adotar outro plano, e organizando uma experiência, descobrir por nós mesmos o que queremos saber. Um experimento é uma pergunta que fazemos à, ou sobre a, Natureza, que está sempre pronta a nos dar a resposta correta, desde que se faça a pergunta apropriada, isto é, desde que se prepare a experiência adequada. Um experimento não é um truque de mágica, algo simplesmente para fazer pensar, nem é simplesmente mostrado porque é bonito, ou porque servem para aliviar a monotonia de um estudo, seu principal objetivo é permitir que se veja, por si mesmo, o que são as verdadeiras respostas para as perguntas que se fez.

Para esse entendimento, foram feitos uma série de experimentos visando a concretização de objetos baseados em geometrias sinclásticas, infladas, e anticlásticas, esticadas. Tais experimentos são apresentados a seguir como forma de entender o processo que levou ao desenvolvimento do método de captura proposto nessa tese.

### 3

## Objeto Baseado na Geometria Inflada – A sala Bolha

O objeto de que trata este capítulo é fruto de uma proposta comum entre a PUC- Rio e o laboratório, visando solucionar a demanda por salas de aula e outros espaços voltados para o ensino no campus que não tivessem caráter permanente e convencional. Devido a necessidades específicas dos envolvidos, definiram-se algumas diferentes plantas, de tamanhos e formas de base diferentes

### 3.1 Processo

No momento em que surgiu a demanda pelas salas de aula, estava em andamento no laboratório uma pesquisa para a obtenção de um domo de bambu com uma base quadrada. Esses estudos resultaram em dois objetos colocados em

uso: um como cobertura de uma oficina experimental em Santa Catarina – SC, também chamado de domo de Yvy Porã (CAMPOS, 2009; CAMPOS & MELO, 2011; CORREIA DE MELO J., 2011); e o outro a cobertura no novo prédio do LILD (CAMPOS, 2009; CORREIA DE MELO J., 2011; RIPPER, CAMPOS, & CORREIA DE MELO, 2012). A partir disso, iniciou-se o estudo para a obtenção da forma das novas salas, desdobrando a base quadrada, utilizada em tais experimentos, para as bases retangulares definidas, *à priori*, para o projeto (figuras 16 e 17). Serviriam como auditório e sala multiuso para o Instituto de Relações Internacionais – IRI – da Universidade.

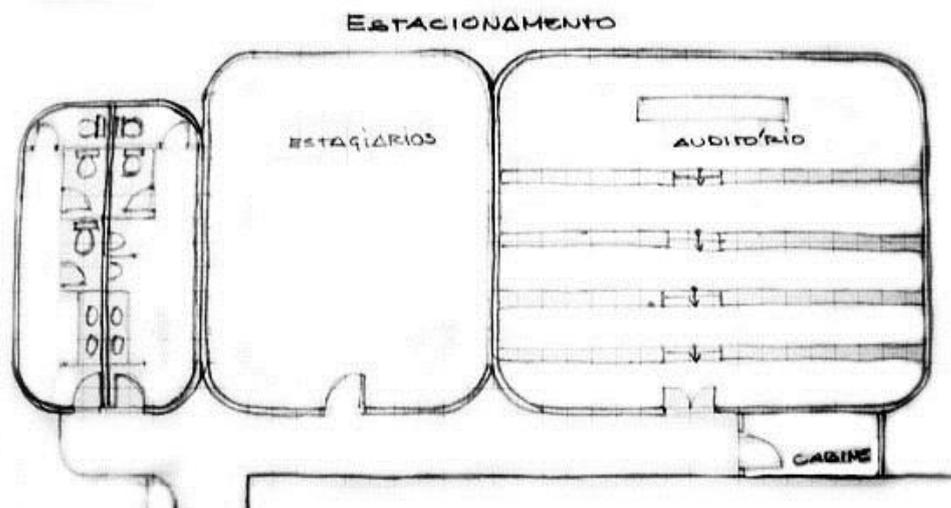


Figura 16 - Croquis para um primeiro conjunto de salas anexo ao prédio do Instituto de Relações Internacionais da PUC-Rio

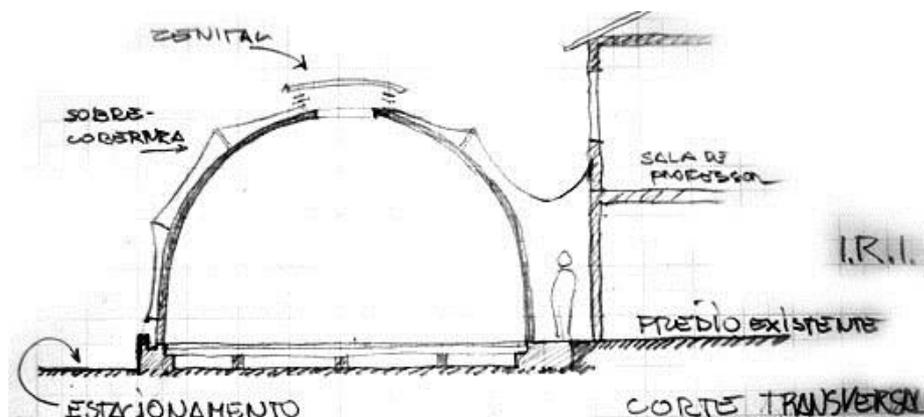


Figura 17 - Croquis do corte transversal

Optou-se, então por utilizar as bolhas de sabão como elementos que definiriam a forma e a relação entre as estruturas. O interessante das bolhas para

objetos dômicos em geral é o seu aproveitamento do volume interno, especialmente se comparado com domos baseados em arcos de círculo ou curvas catenárias. Outro ponto interessante a favor dessa geometria é o fato de sua formação ter uma relação direta com a formação geométrica do corpo humano, como dito anteriormente, o que possibilita uma maior empatia entre homem e espaço.

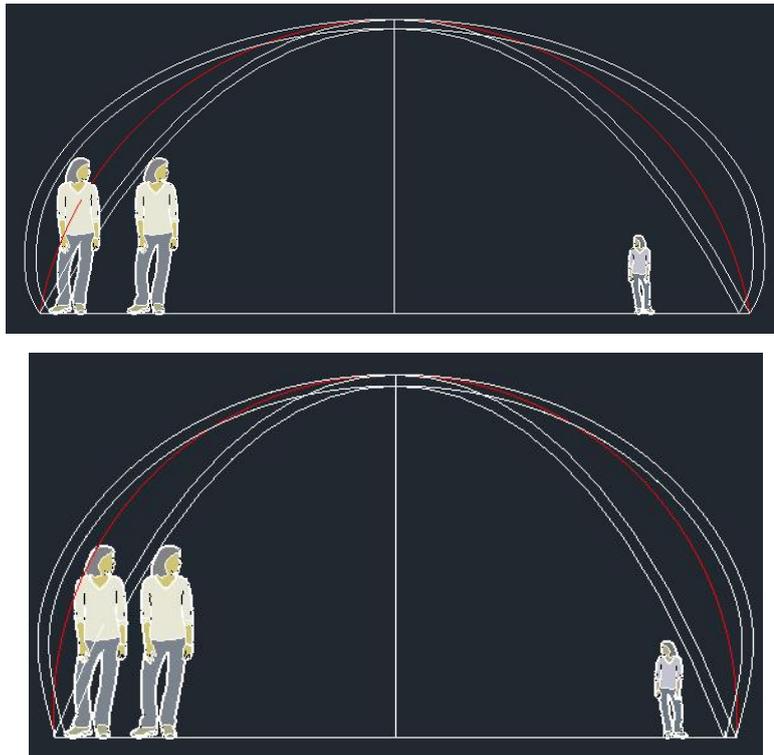


Figura 18 - Espaço interno para uso. Comparação entre a curva da bolha, um arco de círculo, e uma curva catenária com as mesmas alturas e bases (de fora para dentro) em corte transversal

Para as atividades iniciais com a bolha de sabão, preparou-se um primeiro dispositivo para experimento. Esse objeto consiste em uma base na qual foram desenhadas as duas plantas previstas. Sobre esse desenho foi posicionado um perfil mais alto para que servisse de limite para a base da bolha. Algumas bolhas foram sopradas e manipuladas para a visualização de possíveis formas do objeto pretendido. Essas bolhas foram observadas e brevemente fotografadas, de forma a possibilitar posteriormente a parametrização da forma (figura 19).



Figura 85 - Bolha de Sabão. Base em escala 1:50

Seguinte a esse processo, iniciou-se o estudo desse objeto em ambiente eletrônico. Seguindo os preceitos da pesquisa do laboratório, optou-se pela utilização de softwares populares, e preferencialmente gratuitos. Uma primeira tentativa de representação eletrônica da bolha havia sido feita quando dos estudos para a cobertura do laboratório, para a qual utilizou-se o software AutoCAD, como descrito por CORREIA DE MELO (2011, pp. 56-78), justificando a escolha por iniciar o novo trabalho da mesma forma.

Uma novidade em relação ao modelo em estado eletrônico estudado por Correia de Melo foi a utilização de um *plug-in* gratuito para o software Google Sketchup – também gratuito – chamado *Soap Skin Bubble* (SSB) ([www.tensile-structures.de](http://www.tensile-structures.de)). Esse *plug-in* permite descrever superfícies bastante aproximadas às superfícies mínimas, tanto tensionadas quanto infladas.

Dessa forma, definiram-se os parâmetros no AutoCAD, importando-os posteriormente para o Sketchup. Nesse último aplicou-se o *plug-in* SSB, que nos retornou um grid “inflado” próximo a superfície pretendida. Esse grid foi levado novamente ao AutoCAD para que a geometria fosse medida e afinada de acordo com a precisão necessária à execução do objeto.

Com o grid no AutoCAD, a geometria foi separada por dois eixos de simetria, dividindo a mesma em quatro partes simétricas; trabalhou-se, então na

afinação em uma das partes, reproduzindo-a posteriormente às outras. Desse modo, descreveu-se *splines* sobre a nuvem de pontos do grid, derivando, assim, as curvaturas da geometria. Percebe-se, nesse ponto, o surgimento de tiras que seguem as linhas geodésicas entre os pontos, o que no caso do inflado corresponderia a uma possibilidade usual dos padrões de corte – *cutting patterns* – para a confecção da superfície (OTTO & et al, 1982); (MONCRIEFF & TOPPING, 1989); (GRÜNDIG, MONCRIEFF, SINGER, & STRÖBEL, 2000) (PAULETTI, 2003) (STRÖBEL & SINGER, 2005) (BECHTOLD, 2008). Essas linhas geodésicas foram, então, “explodidas” e os arcos resultantes da ligação entre dois planos adjacentes puderam ser medidos, criando parâmetros para a planificação das tiras. Isso é comprovado quando se monta, posteriormente, um pequeno modelo em papel utilizando as tiras resultantes do processo de planificação (figura 20).

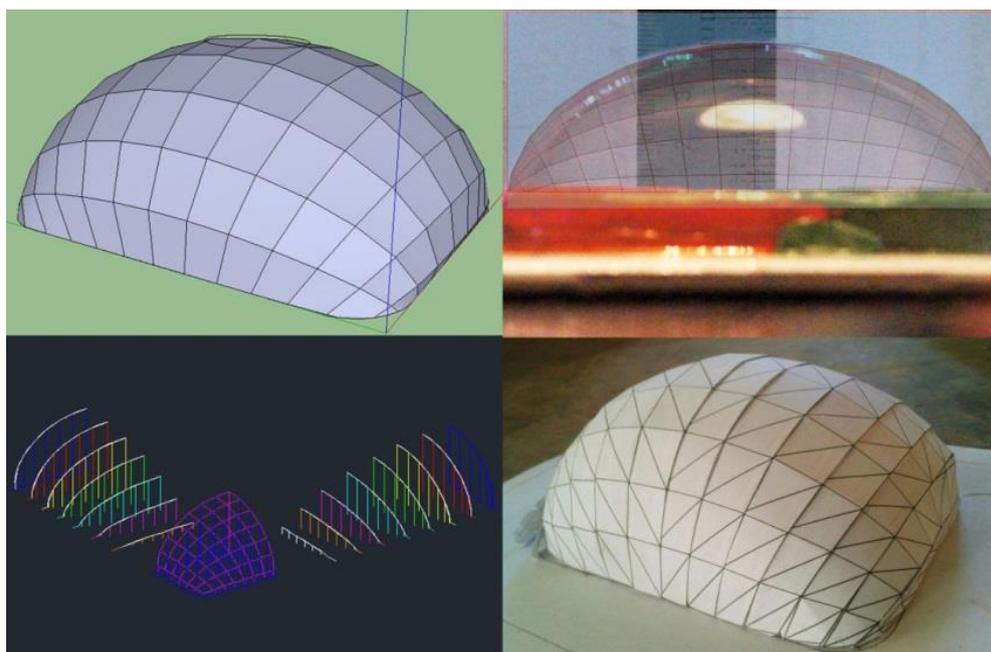


Figura 20 - Processo de parametrização da forma

Observando a geometria descrita pelo grid, optou-se por utilizar o mesmo como caminho estrutural para a confecção da estrutura da sala. Como os colmos das espécies de bambu que o laboratório teria acesso não conseguiriam descrever as curvas necessárias, fitas tiradas desses colmos foram empregadas. Dessa forma, seria obtida uma estrutura parecida com um *grid shell*; no entanto, as fitas seguiriam linhas geodésicas da superfície e seus pontos de encontros difeririam

bastante de tal método, pois cada quadrilátero do “grid” teria um tamanho diferente. Para a experimentação, foi confeccionada uma maquete de fitas de bambu na escala 1:25, indicando a viabilidade do mesmo (figura 21).

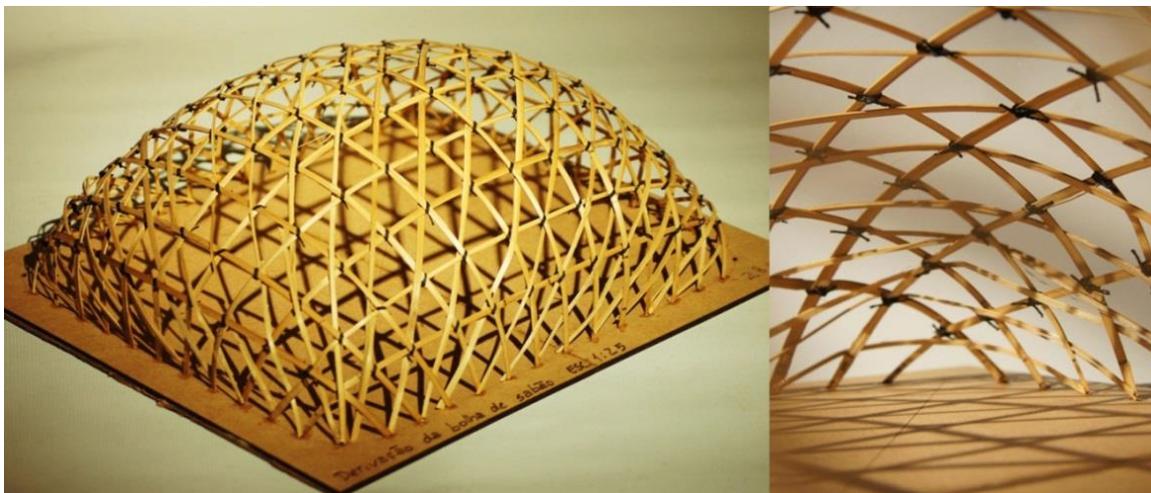


Figura 2186 - Miniatura em escala 1:25

Nesse momento, o projeto para as salas de aula sofreu algumas alterações. Não haveria mais espaço específico para as mesmas, elas deveriam permitir uma mobilidade maior para que pudessem ser montadas em diferentes locais. Por isso, optou-se por seguir a pesquisa e parametrização focando na planta menor, facilitando o cumprimento de tais requisitos.

### 3.2 Modelos em estado de uso concretizados

#### 3.2.1 Primeira estrutura concretizada em estado de uso

Para uma primeira experimentação em estado de uso, ou seja, em escala 1:1, aproveitou-se o convite ao laboratório para a participação na Feira de valores da universidade católica (FEVUC), onde diversos núcleos da universidade apresentam suas pesquisas e desenvolvimentos. Para tal, coletaram-se colmos de bambu da espécie *Bambusa Tuldoides* com cerca de quatro centímetros de diâmetro, cortados com cerca de cinco metros de comprimento. Esses colmos foram, então, fitados.

Como as linhas do *grid* eram maiores que cinco metros – a maior tem quase doze metros - foi necessário compor com algumas fitas. Essas fitas foram amarradas entre si utilizando-se cabos de polipropileno com alma de diâmetro 2,5 milímetros, e empregou-se o nó “volta do fiel”, conhecido de outros trabalhos do laboratório, gerando elementos chamados “linhas”. Nessas linhas foram,

então, marcados os pontos de encontros do *grid*.

A montagem (figura 4) foi muito parecida com a de um *grid shell*. Marcou-se no local os 6,00mx7,70m da planta. Posteriormente, começou-se dispondo as linhas de bambu no chão, de acordo com seu posicionamento na estrutura. Diferentemente do *grid shell*, os encontros das linhas foram amarrados com a amarra quadrada esganada, que fixa o ângulo entre as peças, o que faz com que a estrutura vá subindo a cada amarração. No entanto, devido à flexibilidade das fitas de bambu, foi possível amarrar 14 das 22 linhas no chão.

Para levantar o *grid*, usou-se um gabarito com os 3,20m de altura máxima, amarrado no ponto central da geometria. Outros quatro gabaritos, colocados em pontos chave, também foram utilizados, e, sem maior esforço, a parte já amarrada da estrutura foi colocada de pé. Mantidos os gabaritos, amarraram-se as linhas faltantes, as pontas das linhas em bambus que formavam o retângulo da planta, e, por fim, as diagonais para contraventamento da estrutura.

Essa primeira montagem serviu de teste para uma segunda que deveria ser mais cuidadosa, pois, dessa vez, a estrutura serviria de espaço expositivo para o laboratório em parceria com a rede mundial do bambu – INBAR – durante um dos eventos da Rio +20. A principal diferença em relação à primeira montagem foi a preparação de uma base especial, feitas com colmos inteiros da espécie *phyllostachys pubescens*, ligados por arcos feitos com fitas da mesma espécie. Esses colmos tinham cortes específicos para o encaixe das pontas das linhas, e por estarem ligados pelos arcos, serviram como elemento de autoportância da estrutura.



Figura 22 - Processo de montagem

Pelo fato de a FEVUC ocorrer dentro do campus da universidade, foi possível manter a estrutura em seu lugar mesmo após o fim do evento, o que permitiu que o objeto permanecesse montado por três semanas. Vale lembrar que o objeto permaneceu ao tempo durante esse período e que não foi usado efetivamente. No entanto, o contato diário com a mesma mostrou alguns detalhes a serem ajustados para uma segunda montagem.

Durante a preparação das linhas não se levou em conta o posicionamento das mesmas em relação à qualidade e dimensões das fitas de bambu. Quando se retirou os gabaritos, percebeu-se algumas deformações na superfície, e uma redução do pé direito máximo.

A princípio não seriam colocadas linhas na diagonal da estrutura – como havia na maquete - no entanto, para corrigir as deformações observadas, optou-se por coloca-las e amarra-las enquanto a estrutura estivesse apoiada pelos gabaritos. Isso resolveu grande parte dos desvios, e, o principal, fixou a altura nos 3,20m projetados. Outros desvios mais pontuais foram resolvidos com a colocação de mais fitas localmente.

Foram feitos testes de movimentação da estrutura que permaneceu íntegra em todos e foi possível de ser carregada por quatro pessoas (Figura 22). No entanto, esses testes demonstraram a necessidade de uma nova base.



Figura 23 - Teste de autoportância e mobilidade

Para a segunda montagem, a nova base apresentou um comportamento bastante superior. As fitas de bambu foram as mesmas utilizadas na estrutura anterior; porém, foram observadas as características e qualidades das mesmas para a montagem das linhas, o que trouxe uma melhoria na descrição da geometria. No entanto, pequenos desvios ainda foram observados. Vale lembrar que nesse evento, cortou-se parte de algumas linhas para que servisse de porta, sendo a borda da mesma reforçada com mais fitas - o que não alterou a geometria como um todo.

Quanto ao uso, pode-se dizer que foi bastante satisfatório. Além de espaço de exposição dos desenvolvimentos tecnológicos do LILD e do INBAR, ocorreu dentro da estrutura uma importante reunião entre pesquisadores, dirigentes do INBAR e representantes do governo brasileiro, com o intuito de incentivar a pesquisa e indústria do bambu no país. O espaço também foi utilizado como sala de aula, durante oficinas e palestras (figura 6). Porém, como se tratava de um evento temporário, não se pôde analisar mais a fundo esses usos.



Figura 24 - Objeto em uso durante a Rio +20

### 3.2.2 Segunda estrutura concretizada em estado de uso

Apesar dos resultados bastante promissores após as primeiras montagens, ajustes mostraram-se necessários, tanto em relação à geometria quanto em relação às necessidades para usos diversos.

Foi, então, preparada uma nova estrutura com fitas de *phyllostachys pubescens*, bambu mossô, que apresentam uma qualidade superior quando arqueadas. Além disso, a organização das mesmas nas linhas também foi observada. Um primeiro experimento referente à membrana que será tensionada no *grid* foi preparado, no entanto, foram encontrados alguns contratemplos devido à ação do vento.



Figura 25 - Modelo em estado mecânico do esquema de tensionamento de membrana



Figura 26 - Segunda estrutura feita com fitas de bambu mossô, apresentando rede de cabos para tensionamento de membrana.



Figura 27 - Fechamento com papel para simulação de membrana interna



Figura 28 - Estrutura deformada devido à ação do vento e umidade

Como desdobramento dessa falha da cobertura a membrana foi repensada, assim como a cobertura rígida superior, que visa a proteção dos bambus e um melhor conforto no ambiente interno. Essa cobertura de dupla camada está sendo testada em miniaturas, e segue o princípio do Tensegrity, de um modo similar ao proposto por ADRIAENSSENS & BARNES (2001).



Figura 29 - Modelo em estado eletrônico apresentando a cobertura de dupla camada e miniature mostrando a estrutura Tensegrity

### 3.2.3 Terceira estrutura concretizada em estado de uso

Visando melhorar a portabilidade do objeto, assim como, reduzir os efeitos da sobreposição de fitas, foi adotado o conceito modularidade. A forma foi, então, dividida em quatro módulos semelhantes, separados pelos eixos longitudinal e transversal. Tais módulos apresentam simetria planar, o que faz com que dois sejam exatamente iguais, e os outros dois tem exatamente as mesmas medidas espelhadas em relação aos primeiros.

Os módulos foram montados dentro do laboratório e levados um a um ao local onde a sala seria posicionada. No local, esse objeto foi coberto com tela para aumentar, pelo menos em parte, o isolamento do interior. A sala ficou montada por, pelo menos, duas semanas, e, durante esse tempo, ocorreram uma série de aulas e encontros em seu interior.

O uso foi prejudicado devido a uma série de elementos existentes no redor. O objeto foi montado no pilotis de um dos prédios da universidade. Devido ao grande movimento de pessoas, o barulho era grande, o que atrapalhava as atividades. Um segundo ponto observado, foi a existência de uma família de gatos nas proximidades. Os animais também utilizaram o objeto, não só como banheiro – o que trouxe um odor muito ruim – mas também como brinquedo, e quando cerca de sete deles subiram na estrutura, a mesma não resistiu e deformou-se.



Figura 30 - Modelo em estado mecânico do objeto separado em quatro módulos



Figura 31 - Módulos em montagem e em experimentação



Figura 32 - Módulos em transporte e em montagem



Figura 33 - Objeto montado



Figura 34 - Objeto em uso

### 3.3 Troca tecnológica com a PUC Valparaíso – Chile

Em 2012, iniciou-se entre o LILD e a Escola de Arquitetura e Design da Pontifícia Universidade Católica de Valparaíso (EAD-PUCV), Chile, um intercâmbio e passagem das técnicas desenvolvidas no laboratório. Tal processo iniciou-se quando da viagem do professor Ripper, coordenador do LILD, ao Chile em setembro de tal ano. Definiu-se, assim, que um professor da EAD-PUCV viria fazer um estágio no laboratório, retornando posteriormente ao Chile, visando buscar materiais locais que pudessem ser compatíveis com as técnicas aprendidas.

Dessa forma, em março de 2013, o professor Alfred Thiers da EAD-PUCV, passou cerca de um mês no LILD, aprendendo a metodologia e as técnicas desenvolvidas nesse

laboratório. Mantendo sempre o contato, definiu-se que em agosto de 2013, uma equipe do LILD iria ao Chile para concretizar algum objeto no campus de Ritoque/Ciudad Abierta. Aproveitando a pesquisa sobre a sala bolha, optou-se por utilizar a mesma geometria, no entanto, numa escala três vezes menor. O objeto foi concretizado utilizando, também, a técnica do grid geodésico – mas utilizando canos de PVC no lugar de bambus, devido à dificuldade de aquisição destes na região. O espaço interno do grid foi cheio com areia, de modo a criar um molde para a confecção do isolamento. O isolamento é constituído por uma casca de fibrobarro recoberto com pasta cal para impermeabilização. A areia posteriormente foi retirada pela abertura que seria a porta.



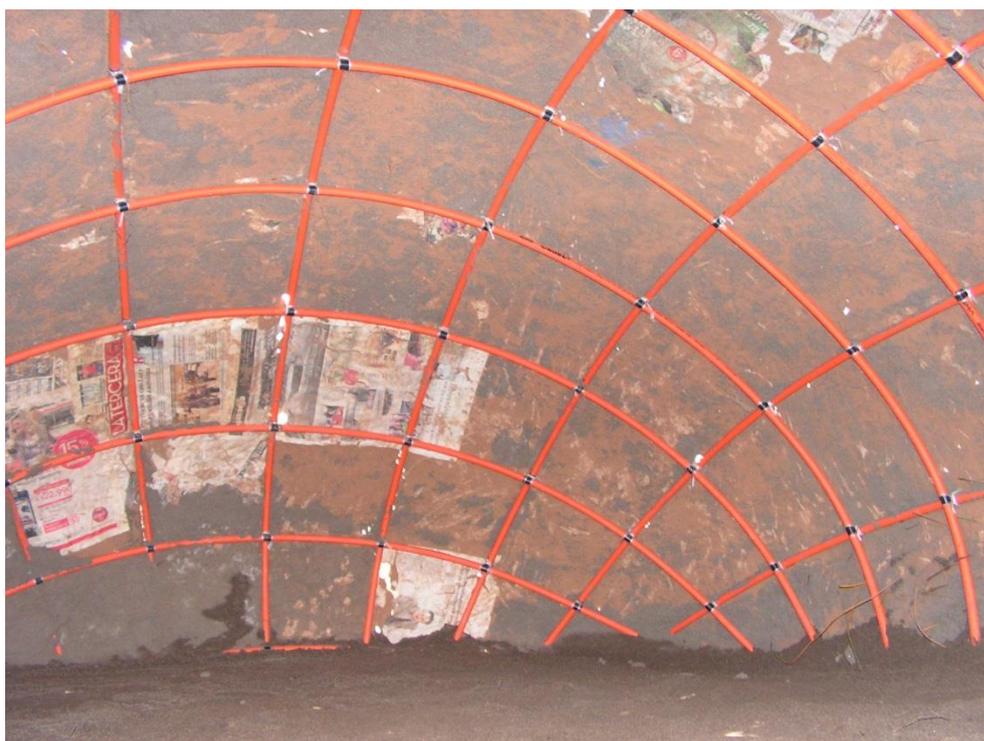
Figura 35 - Grid montado e molde de areia



Figura36 - Fibrobarro sendo preparado e aplicado



*Figura 3787 - Objeto finalizado*



*Figura 38 - Espaço interno após a retirada da areia*

## 4

### Objeto Baseado na Geometria Tensionada

A tenda, conforme vem sendo feita a milhares e milhares de anos, constitui um sistema de cobertura eficaz e simples, sendo adaptável a diferentes ambientes físico/geográficos. Permite montagens e desmontagens constantes, e o transporte de maneira prática e eficiente para atender tanto as situações de culturas nômades tradicionais, ou as da vida moderna.

As tendas tradicionais eram geradas de maneira similar aos processos espontâneos naturais, ou seja, consumindo um mínimo possível da energia potencial existente no local. Hoje em dia, nossa sociedade técnico/científica vêm especializando esse tipo de cobertura para realizar megaestruturas. No entanto, essas construções de grande porte e alto carregamento, passaram a ser os modelos perseguidos desconsiderando, para os objetos de baixo e médio carregamento, as soluções simples das culturas ancestrais, trazendo uma sofisticação técnica desnecessária e de maior custo às tendas de menor porte (BECHTOLD, 2008).

Nesse capítulo é descrita a concepção e construção de módulos experimentais de cobertura têxtil em terrenos abertos, expostos ao sol, chuva e ventos, que serão utilizados como abrigo.

A ideia de confecção das estruturas tratadas nesse capítulo surgiu da necessidade de cobertura de um ambiente construído no campo avançado experimental do laboratório localizado no vilarejo de Formoso, situado no interior do estado de São Paulo, sudeste brasileiro. Uma primeira tentativa para a cobertura desse pequeno abrigo foi efetuada há alguns anos atrás. Na ocasião foi construída uma primeira estrutura tensegrity coberta com uma lona plástica.



Figura 39 - Primeira cobertura do abrigo. Estrutura Tensegrity.

Essa estrutura acabou sendo removida devido ao intemperismo. O efeito do vento rasgou a lona, no entanto, a estrutura tensegrity principal foi mantida intacta, o que trouxe uma série de dados para a execução de uma nova cobertura.

#### 4.1 Aplicação do processo

Seguindo os preceitos da pesquisa do laboratório, a estrutura foi primeiramente estudada em modelos em estado mecânico, ou miniaturas (MOREIRA & RIPPER, 2008). Esses modelos foram usados, em um primeiro momento, para a obtenção da forma geral e desenvolvimento estrutural do objeto, e, depois, para medições e estudos do método construtivo a ser empregado.



Figura 40 - Miniatura da estrutura sobreposta ao abrigo real

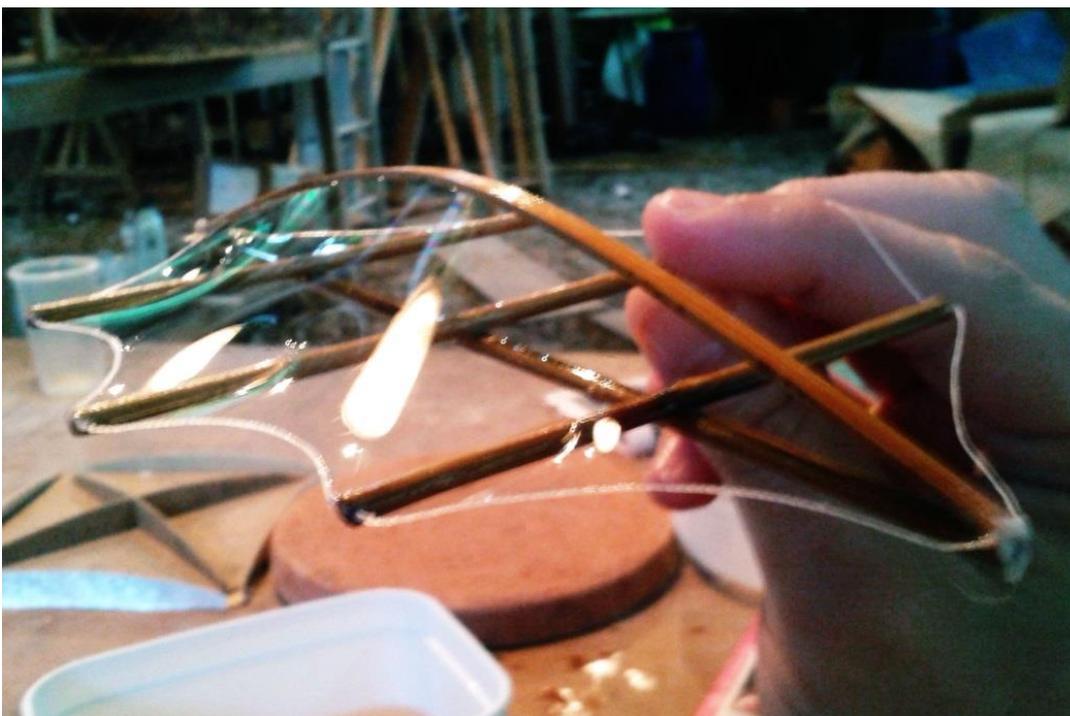


Figura 4188 - Filme de sabão demonstrando a geometria geral do objeto

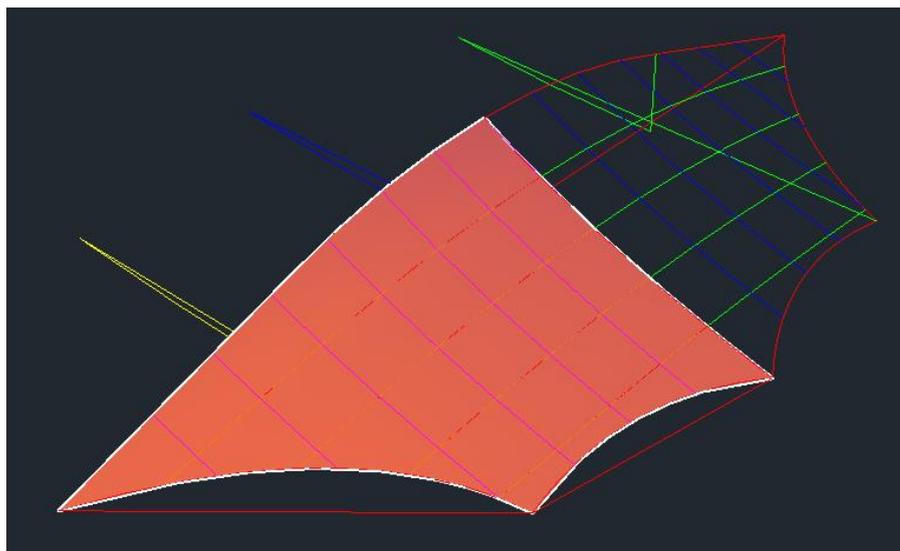


Figura 42 - Modelo em estado eletrônico demonstrando a parametrização da geometria

O princípio estrutural do objeto é bastante similar ao das estruturas tensegrity. Seus elementos estruturais básicos são dois: os elementos de compressão e os elementos de tração. A diferença conceitual entre os tensegritys e a estrutura aqui proposta está na liberdade de suas juntas. Nos tensegritys o contato entre as barras é evitado, para que cada elemento trabalhe individualmente somente sob esforços de compressão, e a rede de cabos somente à tração. Já no módulo de cobertura, algumas juntas, que no tensegrity são livres, estão conectadas. No entanto, de um modo geral, a rede de cabos continua trabalhando à tração e as vigas de bambu basicamente à compressão.

A infraestrutura é autoportante e autotensionada composta por três elementos: vigas de bambu arqueadas, mastros de bambu – ou elementos armadores – e rede de cabos.

As vigas são dispostas em dois sentidos, longitudinal e transversal ao objeto, podendo separá-las em principal e secundárias. Aproveitando a flexão natural do colmo de bambu, optou-se por trabalhar as vigas em elementos pré-arqueados, de maneira semelhante ao arco de caça indígena. Não seria possível atingir o arqueamento necessário ao sistema utilizando apenas um colmo de diâmetro grande, dessa forma, optou-se por confeccionar as vigas com feixes de colmos de bambu da espécie *bambusa tuldoide* – disponível no local - de diâmetro entre 3 e 4 cm, já amarrados e colados em curva. Para a obtenção da curva projetada para os arcos - uma curva simétrica – trabalhou-se com a chamada compensação dos bambus devido à sua forma cônica, ou seja, os mesmos eram organizados de modo a ter sempre um bambu em cada sentido, a base de um colmo encontra a ponta de outro. Imperfeições naturais na linearidade dos colmos, quando postas em feixe são atenuadas pelo conjunto. Outro fator interessante é que ao compor um feixe, um determinado bambu em caso de alguma deterioração - como, por exemplo, pelo ataque de insetos - é compensado pelos demais e ainda assim continua contribuindo geometricamente

para o desempenho do elemento do qual participa.



Figura 43 - Preparação das vigas em feixe

A viga principal - que corre no sentido longitudinal do objeto, funcionando como uma longarina – foi encapsulada com laminado de resina e fibras vegetais. A opção por esse laminado, além de aumentar a resistência geral da peça, deve-se ao fato de a mesma estar em contato direto com a membrana, criando ambiente propício a fungos e insetos que poderiam comprometer a estrutura do bambu se o mesmo estivesse exposto. As vigas secundárias receberam bandagens com o mesmo compósito, no entanto somente como reforços em pontos específicos onde interagem com outros elementos do sistema, como a membrana e os mastros.

A rede de cabos é composta por cabos de polipropileno trançado de sete milímetros de diâmetro. Esses cabos são amarrados e nas extremidades das vigas, criando um perímetro que posteriormente é tensionado. Cabos secundários também são amarrados e tensionados perpendicularmente às vigas secundárias de modo a criar uma rede de tensão vertical entre estas e a viga principal.



Figura 44 - Montagem da rede de cabos principal

O volume vertical e o afastamento necessário à tensão geral do sistema são conseguidos por meio dos mastros. Esses mastros são peças de colmos de bambus da espécie *bambusa vulgaris* com cerca de doze centímetros de diâmetro. Os elementos, também chamados “elementos armadores”, são colocados entre as vigas secundárias e a viga principal, funcionando também como contra flechas destas.



Figura 45 - Infraestrutura.

Por sobre a infraestrutura, como vedação, tiras de tecido natural e terra são apoiados. O comprimento dessas tiras é variado e a sobreposição das mesmas permite a

discretização da geometria pretendida, de maneira similar ao método “pente”, desenvolvido pelo IL para a obtenção dos padrões de cortes de estruturas infladas e tensionadas (OTTO & et al, 1982). Depois de curada, a membrana é pintada com resina de origem vegetal. Forma-se assim um compósito maleável e impermeável.



*Figura 46 - Membrana compósita*



*Figura 47 - Aspecto final da cobertura*

Esse objeto é um primeiro passo em direção a uma técnica de membranas tensionadas artesanais. A cobertura aqui tratada está em construção. No entanto, questões

técnicas que surgiram durante a montagem, até o ponto em que está, indicaram alguns caminhos para o entendimento e melhoria da tecnologia.

Uma das conclusões é que as tiras da cobertura podem ser mais leves, o que aprimora a eficiência estrutural e a possível aplicação em objetos de maior escala. Outra importante conclusão é que a direção das tiras influencia diretamente a qualidade estrutural da membrana, assim, um novo arranjo é necessário, de modo a melhorar a distribuição de esforços, assim como o caminho da água de chuva, sobre a superfície e por toda a estrutura principal.

## 5.

### **Processo de obtenção de formas para estruturas de bambu baseado nas superfícies mínimas**

Nesse capítulo é explicitado e discutido o processo de obtenção das formas baseado nos apontamentos e experimentos anteriores, visando sempre uma redução de custo e fácil replicação para aplicação à cenários de autoconstrução, um dos preceitos da pesquisa do LILD.

#### **5.1. O Processo – Visão Geral**

O processo de obtenção é dividido em quatro etapas: obtenção da forma, captura da forma, parametrização da forma e concretização da forma. A seguir cada etapa é brevemente descrita, para um entendimento geral. As fases de obtenção e concretização são bastante simples e diretas, já tendo sido tratadas ao longo desse trabalho. Assim, nesse capítulo, será dada maior ênfase na fase de captura da forma, que é a etapa chave no processo proposto por essa tese.

##### **5.1.1. Obtenção da forma**

A obtenção da forma é feita de maneira bastante intuitiva. Alguns simples dispositivos são confeccionados para a geração das formas espontâneas dos filmes de sabão. Esses dispositivos são construídos baseados em parâmetros pré-determinados de projeto como área máxima, alturas, volume e etc. A princípio constroem-se dispositivos primários que servem quase que como um sketch tridimensional. Para esses, normalmente, usa-se materiais bem flexíveis e dúcteis como arames e massas de modelar, pois, assim, é possível alterar rapidamente a forma dos contornos, possibilitando múltiplas visualizações de potenciais formas do objeto almejado. Dispositivos auxiliares também são utilizados para a manipulação das formas obtidas, modificando alturas máximas, criando pontos de elevação, e acoplando outras formas (figura 48).

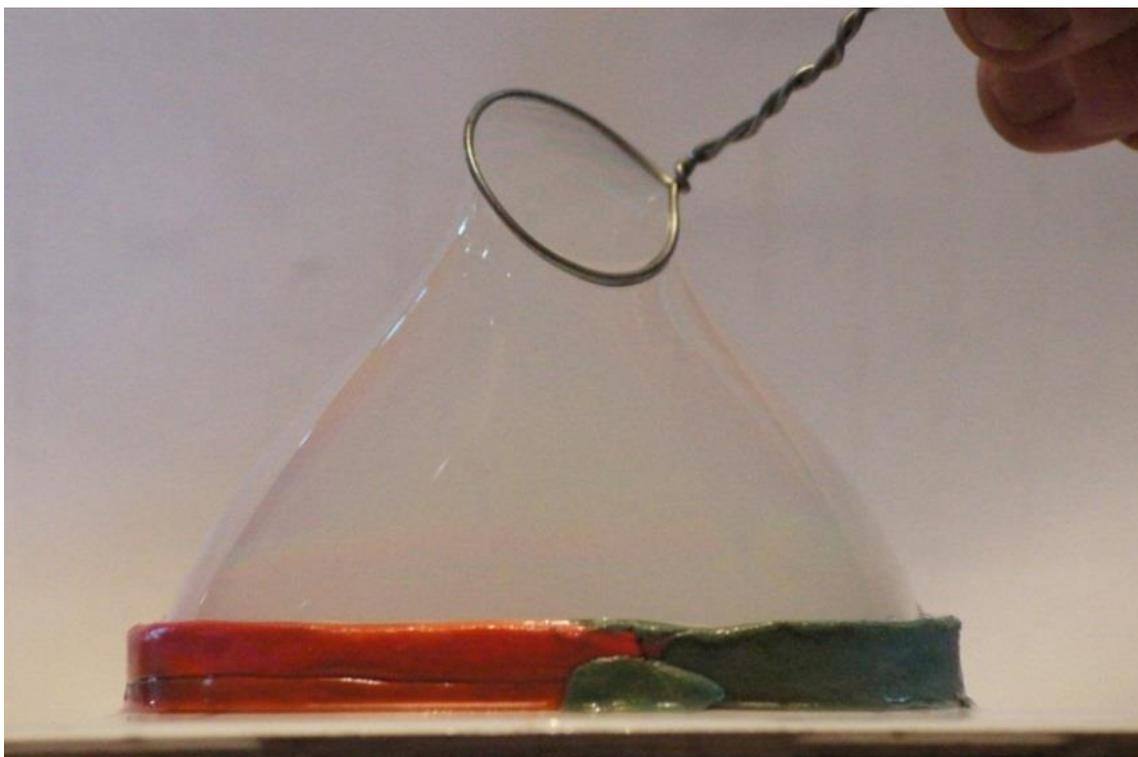


Figura 48 - Manipulação do dispositivo inicial

Após a visualização e manipulação de inúmeras formas potenciais, faz-se uma seleção das mais indicadas à concretização do futuro objeto. Desse modo, confecciona-se um dispositivo secundário com materiais mais específicos à função que vão exercer – como madeira e plástico para bordas rígidas e linhas para bordas flexíveis -, o que possibilita uma maior precisão na manipulação das condições de contorno. Por meio desse novo dispositivo é possível realizar algumas tarefas mais específicas relacionadas à forma final pretendida, como por exemplo, ajustes finos e visualização de possíveis soluções construtivas. Por fim, o dispositivo é utilizado como suporte à captura da superfície (Figura 49). Atualmente as técnicas de impressão 3D vêm contribuindo positivamente em diversas áreas (LOPES, AZEVEDO, BRANCAGLION Junior, & WERNER Jr, 2013). No caso desse processo, essa tecnologia se mostra cada vez mais interessante, especialmente na confecção desse dispositivo secundário. A possibilidade e a rapidez de construção formas complexas de maneira precisa, acelera o tempo de desenvolvimento e a precisão no posterior processo de captura da forma.



Figura 4989 - Dispositivo secundário impresso em 3D

### 5.1.2. Captura da forma

Atualmente esse processo de captura é feito baseado no processo fotográfico utilizado pelo IL e explicitado por BACH, BURKHARDT, & OTTO (1987). Tal processo envolve máquinas e dispositivos extremamente complexos, o que dificulta e encarece a atividade. Basicamente essa máquina cria um ambiente condicionado propício a uma maior duração do filme de sabão. Formado o filme pretendido, raios paralelos de luz são jogados contra o mesmo, e são captados por uma placa fotossensível no lado oposto ao do filme de sabão. Em outras palavras, faz-se uma captura ótica paralela, sem a deformação causada pela lente.

Nesse trabalho, o que se propõe para o processo de captura é a manipulação fotográfica digital. O básico é o mesmo, capta-se uma imagem fotográfica do filme buscando-se a menor deformação ótica possível, e também uma boa visualização da forma como um todo. Para tal, utilizam-se lentes objetivas específicas e elementos como a fumaça, que quando soprada no interior de uma bolha opacifica o objeto, trazendo uma melhor observação da forma. Também são utilizadas retículas milimetradas e réguas que servem de parâmetros para o passo seguinte.

A partir da fotografia obtida, a mesma é levada à softwares de

manipulação de imagem – como o Adobe Photoshop – que permite uma “contra deformação”, explicitando as geratrizes e diretrizes de curvas do filme de sabão (figura 48).



Figura 50 - Fotografia manipulada para a captura da forma

### 5.1.3. Parametrização da Forma

Seguindo os preceitos da pesquisa dos laboratórios, que busca sempre os caminhos mais simples, softwares populares e preferencialmente gratuitos são utilizados nessa fase de cristalização da geometria. A combinação entre as fotos e os resultados dos cálculos no ambiente dos softwares torna possível a parametrização das formas o mais próximo possível da realidade. A obtenção e otimização dos cálculos numéricos que definem a geometria dos modelos em escala e de protótipos em escala de uso é fruto da combinação de procedimentos artesanais e computacionais, que ampliam o escopo de entendimento do objeto.

Em posse da imagem manipulada obtida pelo processo de captura, essa é inserida em softwares de computação gráfica, para que, por meio de sobreposição, se obtenham as geratrizes e diretrizes da forma a ser descrita. Em se tratando de softwares genéricos – como o AutoCAD -, quanto mais fotos em ângulos diferentes, melhor, pois mais curvas estarão disponíveis à integração

geométrica, aumentando a precisão da descrição da forma.

Por outro lado, softwares específicos para estruturas tensionadas também podem ser utilizados na parametrização, no entanto, vale lembrar que tais softwares apresentam alto custo de aquisição, e os mais acessíveis apresentam um nível de precisão mais baixo, sendo necessários ajustes finos em softwares genéricos. Outro ponto que deve ser observado quando da utilização de softwares específicos é que, no geral, existe necessidade de um conhecimento técnico aprofundado relativo não só às superfícies mínimas, como às estruturas tensionadas em geral. Do contrário, desvios, mesmo que sensíveis, podem aparecer na forma final reduzindo a precisão do processo.

Um fator facilitador é o fato de superfícies mínimas em espaços tridimensionais terem uma propriedade de simetria muito útil: se elas contêm uma linha reta, ou seja, uma geodésica desse espaço, então a superfície mínima é invariavelmente uma rotação de  $180^\circ$  em torno desta linha; se eles encontram um plano totalmente geodésico, ortogonal ao espaço, ao longo de uma geratriz, a superfície mínima terá uma simetria planar. Estas propriedades permitem a construção de superfícies completas a partir de partes fundamentais delimitadas por eixos de simetria (PINKALL & POLTHIER, 1993), reduzindo o trabalho e agilizando o processo.

A partir desse momento dois caminhos podem ser tomados: a discretização por retícula triangular, ou a discretização por grid geodésico.

#### **5.1.3.1. Parametrização por retícula triangular**

O processo de parametrização por retículo triangular é muito parecido com o processo utilizado por Fuller para a discretização da geometria esférica em estruturas reticuladas de malha triangular, os chamados “domos geodésicos”. No caso do Fuller, o pesquisador utilizou-se de um sólido platônico – o icosaedro – a partir do qual, subdividindo os elementos de barra, aproxima-se cada vez mais a geometria esférica. Esses sólidos têm a propriedade específica de que seus lados são regulares e todos os seus vértices tocam uma esfera circunscrita, tornando-os um excelente ponto de partida para uma discretização mais precisa. No entanto, quando tratamos de formas obtidas espontaneamente por meio de superfícies

mínimas, esse start é perdido, dificultando o processo. Desse modo, utilizam-se as propriedades de simetria das superfícies mínimas para resolver o problema. Como mostrado por CAMPOS (2009) e RIPPER, ET AL (2011), pega-se o negativo da superfície capturada e encontra-se seus eixos de simetria. Depois, em um processo parecido com o do FULLER, vão-se subdividindo as barras de modo a encontrar cada vez mais pontos pertencentes à superfície, gerando uma retícula padronizada, que se torna o princípio construtivo do futuro objeto a ser construído [fig.9].



Figura 51 - Processo de parametrização por retícula triangular

### 5.1.3.2. Parametrização por *grid* geodésico

O segundo caminho é baseado na obtenção dos padrões de corte das estruturas de membrana têxtil. Na maioria dos casos, as formas das estruturas de membrana – muitas baseadas em superfícies mínimas – não são planificáveis. Desse modo, para construir tais objetos é necessário discretizar a geometria, de modo que seja possível confeccioná-la com tiras planas de tecido (1967). Para racionalizar o uso do tecido são utilizadas nessa discretização, as linhas

geodésicas, que são a menor distância entre dois pontos sobre certa superfície (OTTO et al, 1982; MONCRIEFF & TOPPING, 1989; GRÜNDIG et al, 2000). Se a superfície é plana, a linha geodésica é uma reta, se é curva, a linha será um arco. Cada tira é formada por duas linhas geodésicas adjacentes, dessa forma, utilizam-se as curvas de apenas um sentido transversal do objeto, escolhendo-se normalmente o que as tiras terão um comprimento menor. Diferente dos padrões de corte, a parametrização aqui proposta utiliza as linhas geodésicas nos dois sentidos transversais do objeto, criando um grid geodésico que discretiza a superfície almejada indicando pontos de ligação para a concretização por meio de barras flexíveis (figura 52).

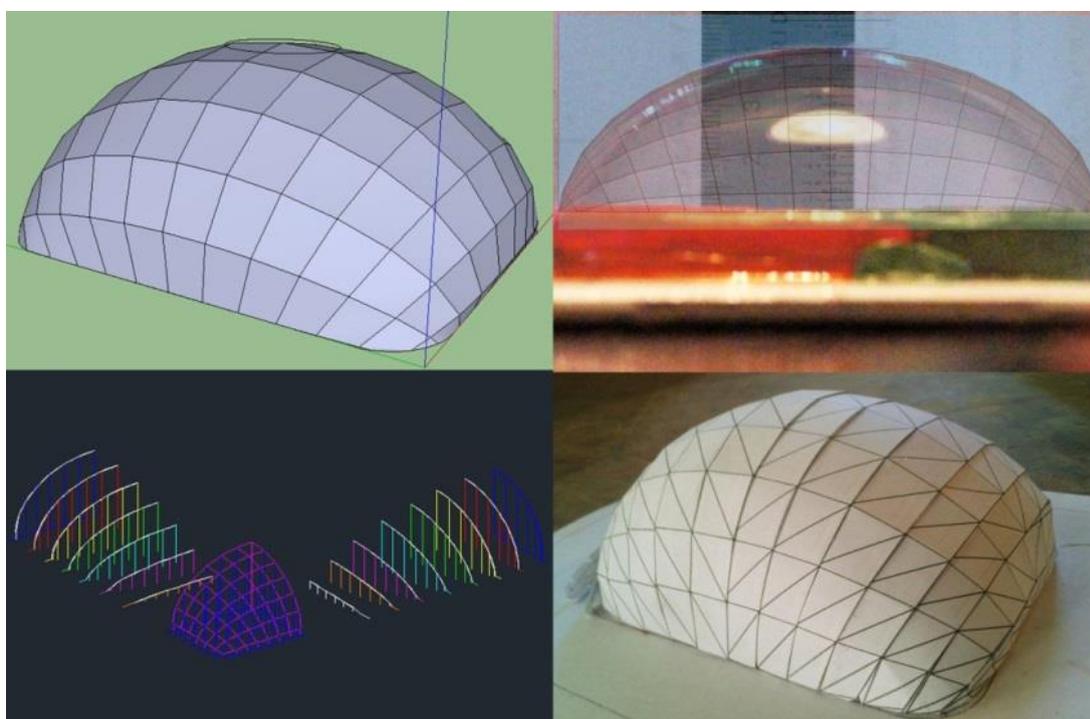


Figura 52 - Processo de parametrização por grid geodésico

#### 5.1.4. Concretização da forma

Partindo dos resultados obtidos na parametrização inicia-se o processo de concretização da forma. Nesse ponto, aplicam-se os parâmetros obtidos na fase anterior às técnicas e métodos construtivos desenvolvidos nos laboratórios. Inicialmente são confeccionados modelos conceptivos preliminares, que possibilitam uma pré-visualização do objeto pretendido, indicando possíveis caminhos de construção.

Quando os caminhos se mostram mais claros são confeccionados os

modelos construtivos. Nesses objetos, ligeiramente maiores que os anteriores, são testadas soluções construtivas locais, assim como procedimentos de preparo e montagem da estrutura.

Por fim, as soluções cristalizadas até o momento são aplicadas em uma primeira montagem - do todo, ou apenas parte - do objeto em escala de uso, retornando detalhes e ajustes finos que são, finalmente, aplicados ao objeto concretizado (figura 53).

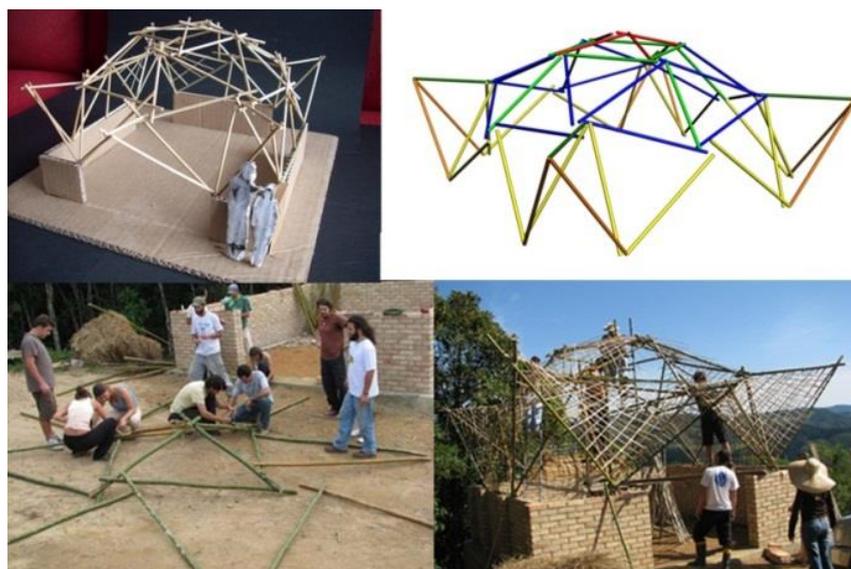


Figura 53 - Processo de concretização

## 5.2. Processo - o ponto chave: Captura

Ainda que apresentando excelentes características formais, os filmes de sabão apresentam um grande desafio à captura de suas formas: seu tempo de duração. Dependendo de elementos externos - como temperatura, umidade e campos magnéticos - e internos - como a formulação de sua mistura - o tempo de duração dos filmes de sabão podem ser aumentados. No entanto, ainda que aumentados, esse tempo continua bastante curto, o que demanda uma captura feita o mais rápido possível.

C.V. BOYS, em seu livro “*Soap Bubbles: Their colours and forces which mould them*”, publicado pela primeira vez em 1890, apresenta diversos experimentos focados em demonstrar o comportamento da superfície dos líquidos. Passando por tensão superficial, capilaridade, gotas, e jatos de líquidos, o BOYS despendeu bastante esforços no entendimento dos filmes de sabão. Para tal, uma

série de objetos foram criados para tornar os experimentos possíveis. Tais objetos podem ser divididos em duas classes diferentes: aqueles cujo intuito era o encontro da forma; e aqueles cujo intuito era explicar a forma.

O primeiro tipo foi criado para encontrar o “*shape*” pretendido. Nesses, as medidas gerais da forma são consideradas, em outras palavras, esses objetos foram criados para determinar as condições limite da forma desejada.

No entanto, as formas nesse aparato não podiam ser precisamente medidas. Assim, Boys, criou o segundo tipo de aparato, o qual buscava explicitar o perímetro da forma pretendida. O funcionamento básico desses novos objetos era a projeção da luz, ou seja, uma lanterna com um forte feixe de luz, que projetava os perímetros da forma na parede, assim pode ser visto na figura 54.

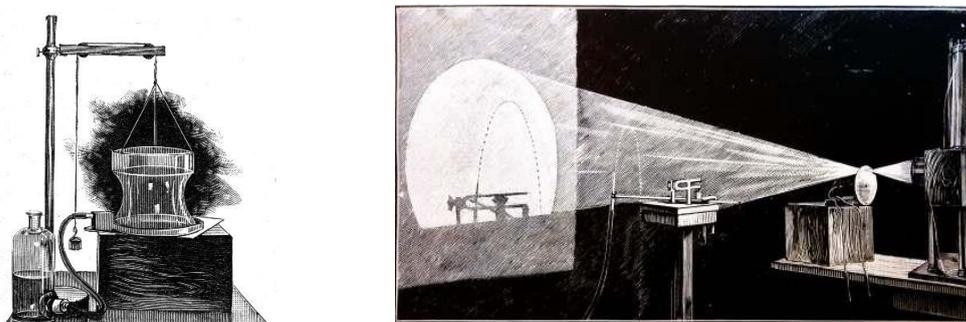


Figura 54 - Aparato de condições de contorno e aparato de projeção feitos por Boys

Anos mais tarde, na década de 1960, a equipe do IL – Universidade de Stuttgart) – coordenado pelo prof. Frei Otto, iniciou os estudos dos filmes de sabão. Seu intuito era entender o comportamento desses filmes de modo a incrementar as construções em arquitetura têxtil. Para esse estudo, que exigiam medidas precisas dos filmes de sabão, Otto e sua equipe criaram um aparato bastante complexo, que fundia, conceitualmente, os dois tipos de aparato criado por BOYS.

BACH, em seu artigo “Minimal Surface Apparatus” (BACH, et al., 1977), descreve o grande desafio na criação de um aparato específico para capturar formas de filmes de sabão. Basicamente, seu funcionamento consistia na projeção do perímetro dos filmes em uma superfície, de maneira bastante similar ao proposto por BOYS, no entanto, diferente deste, no lugar de um feixe de luz normal, foi criado mecanismo ótico que projetava luz paralela sobre a forma, projetando seu perímetro em verdadeira grandeza sobre a superfície, permitindo a

medição precisa das curvas pretendidas.

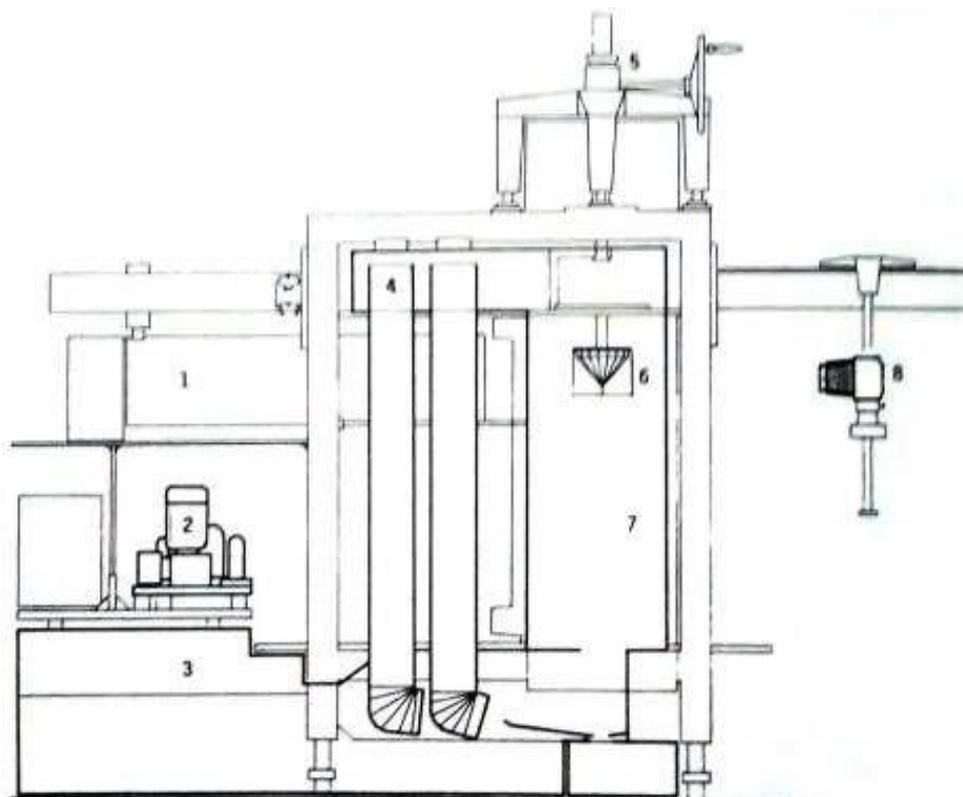


Figura 55 - Aparato de superfícies mínimas do IL (BACH, et al., 1977)

Essa máquina (*Minimal surface apparatus*) trouxe um novo nível de precisão na captura das formas dos filmes de sabão. Entretanto, sua construção e sua operação são muito complexas, o que se torna uma barreira na popularização de construções baseadas em filmes de sabão.

Com o desenvolvimento da tecnologia computacional, cada vez mais, a busca da forma, assim como o cálculo baseado em software vem sendo utilizados, deixando os experimentos físicos de fora do processo. Ninguém pode negar o poder do computador, no entanto - até esse momento - não existe um software capaz de reproduzir perfeitamente a forma de um filme de sabão. Os resultados são muito próximos, no entanto, os algoritmos são limitados. Outro ponto são os custos: quanto mais preciso um software, mais caro ele será.

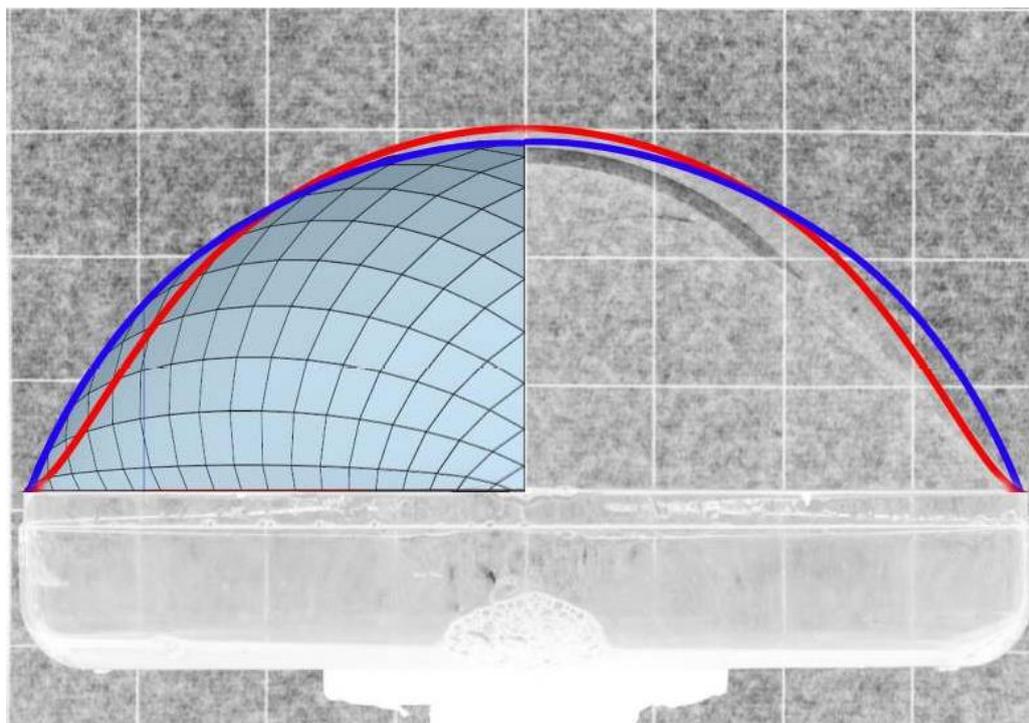


Figura 56 - Comparação entre uma curva real do filme de sabão (vermelho) e a curva resultante de um software especializado (azul). Ambas as formas têm as mesmas condições de contorno.

Outra abordagem testada foi escaneamento tridimensional. Essa área vem se desenvolvendo muito nos últimos anos e tem se tornado cada vez mais acessível (ANDERSON, 2012). Foram tentadas algumas técnicas de escaneamento, como luz branca, infravermelho e até ressonância magnética. O escaner de luz branca, bastante popular, não mostrou nenhum resultado na captura da forma. Quanto a ressonância magnética, a vibração da máquina fez a bolha ficar muito instável, além disso a espessura extremamente fina da mesma – até um milésimo de milímetro – são muito pequenas para a resolução das máquinas mais comuns – cerca de 0,6 milímetros – o que não retornou nenhuma informação da superfície do filme de sabão.

O único que retornou com algum resultado foi um escâner baseado em infravermelho: o Microsoft Kinetic, um aparelho bastante popular, desenvolvido para o jogar vídeo games sem a necessidade de um controle físico, e *hackeado*, para o uso como escaner. Nas tentativas diretas iniciais, o kinetic também não retornou nenhuma informação, porém, em um segundo momento, foi capaz de escanear a forma quando a mesma fora soprada com fumaça em seu interior. No entanto, a qualidade da malha obtida é terrível – Acredita-se que na verdade seja a superfície do corpo de fumaça - e não pode ser usada para a parametrização e redesenho da

superfície real do filme de sabão (figura 57).

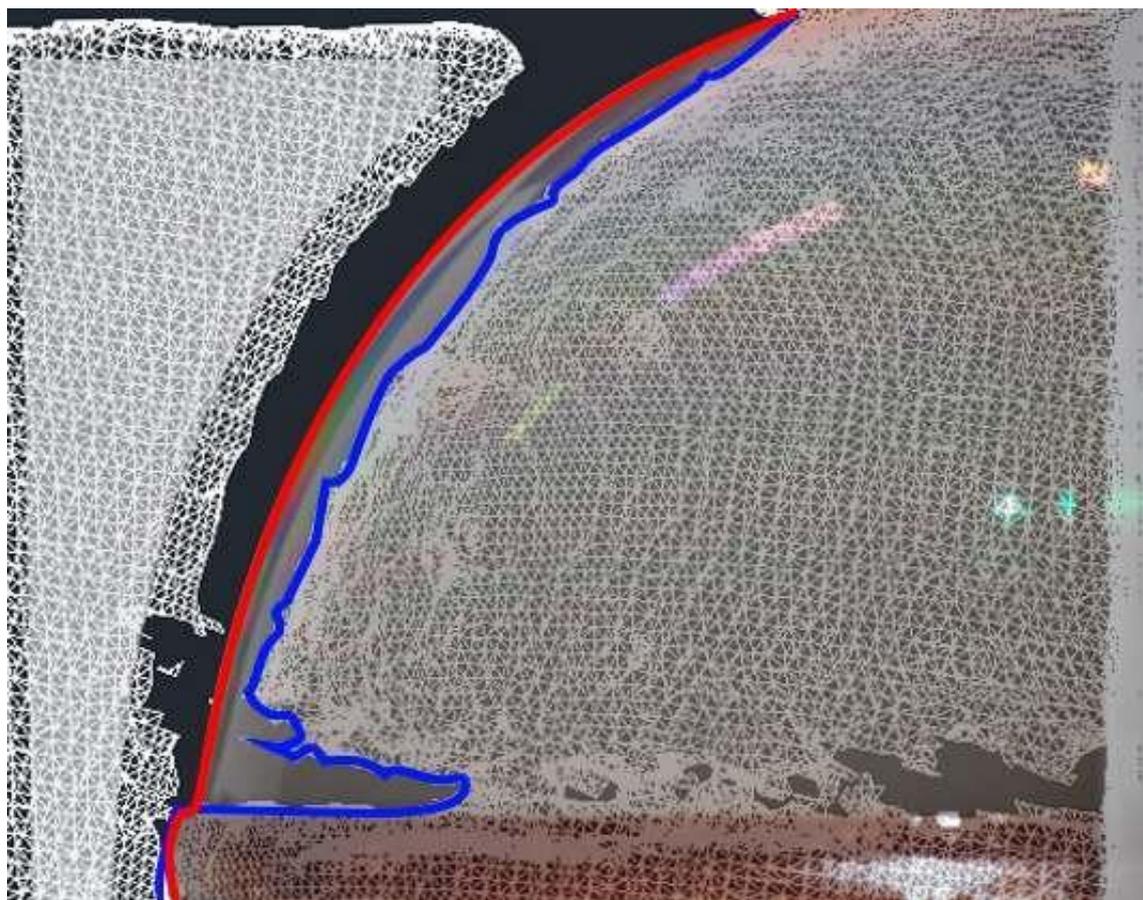


Figura 57 - Comparação entre a superfície real do filme de sabão (vermelho) e a superfície escaneada do filme (azul)

Um dos preceitos na pesquisa do LILD é a popularização das técnicas desenvolvidas no laboratório. Desse modo, a intenção é reduzir os custos, e assim permitir uma utilização mais ampla das formas baseadas em superfícies mínimas de filmes de sabão. Busca-se, assim, uma união entre o conhecimento lógico acadêmico e o conhecimento popular espontâneo, de modo a espalhar e popularizar construção de estruturas leves baseadas em superfícies mínimas. Para tal, o processo proposto por esta tese visa reduzir o hardware complexo de captura, introduzindo a manipulação de imagens digitais de modo a simplificar a obtenção das curvas dos filmes de sabão.

Assim como os métodos de Boys e Bach, o proposto aqui consiste em projeções e fotografia. O hardware utilizado é bastante simples, e basicamente consiste de: uma câmera *reflex* com uma lente zoom objetiva (400mm); um nicho bem iluminado, uma placa transparente com uma retícula ortogonal, e um dispositivo pivotante (assim como a do IL) com marcações a cada 5°, e um

computador com um software manipulador de imagens – como GIMP ou Adobe Photoshop (figura 58).

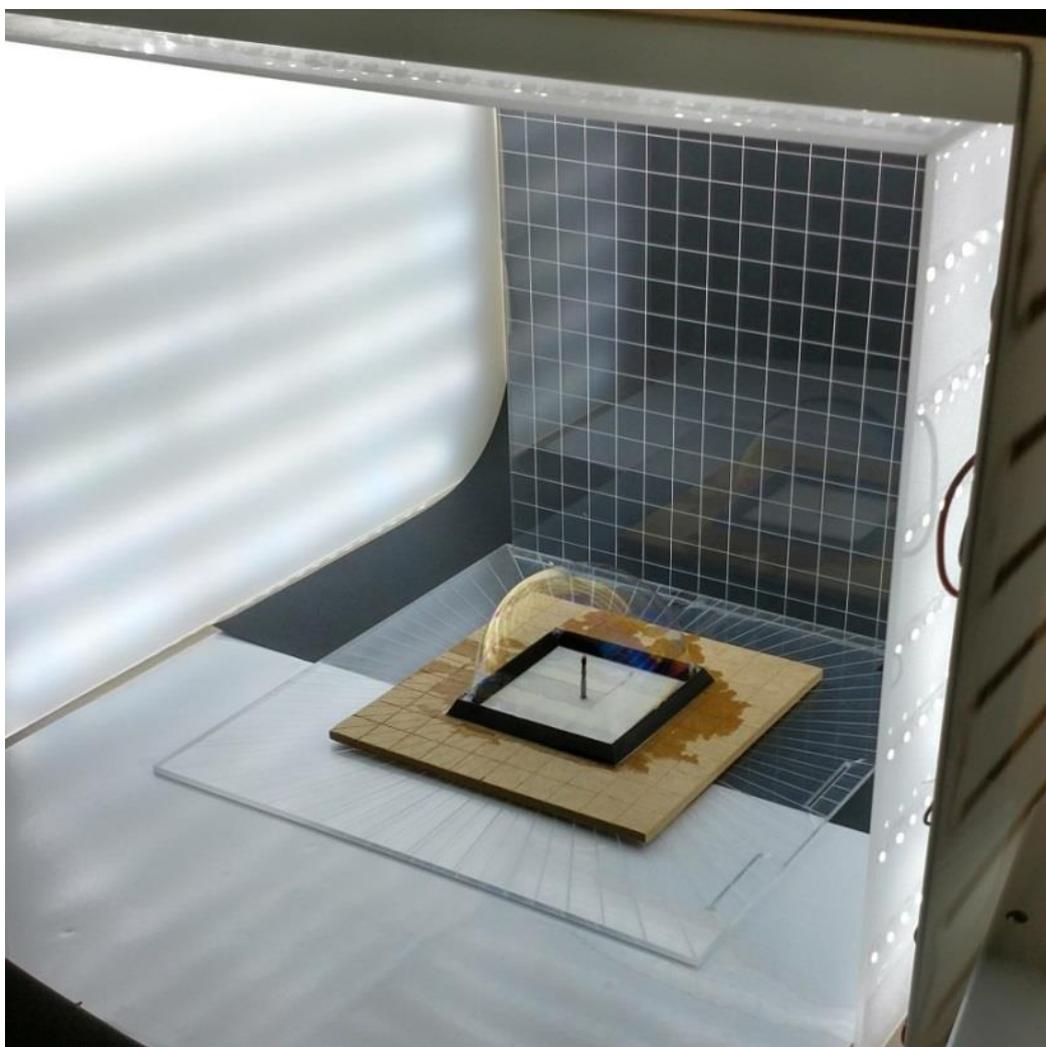


Figura 58 - Hardware para a captura: nicho iluminado, placa transparente com retícula e elemento pivotante com marcações a cada cinco graus.

A primeira etapa é imprimir em 3d a base pretendida para o filme de sabão, seja ele inflado (bolha), ou tensionado (membrana). Depois disso basta soprar a bolha, ou esticar a membrana, de acordo com os parâmetros estabelecidos para a mesma. Após o filme constituído, fotos são tiradas em determinados ângulos. Devido à complexidade da forma e as sutis mudanças na superfície, trabalha-se com dez ângulos: de zero graus até quarenta e cinco graus, tirando uma foto a cada cinco graus. Essa diferença angular é de suma importância para o entendimento das transformações da superfície, focando na recriação da forma (figura 59).

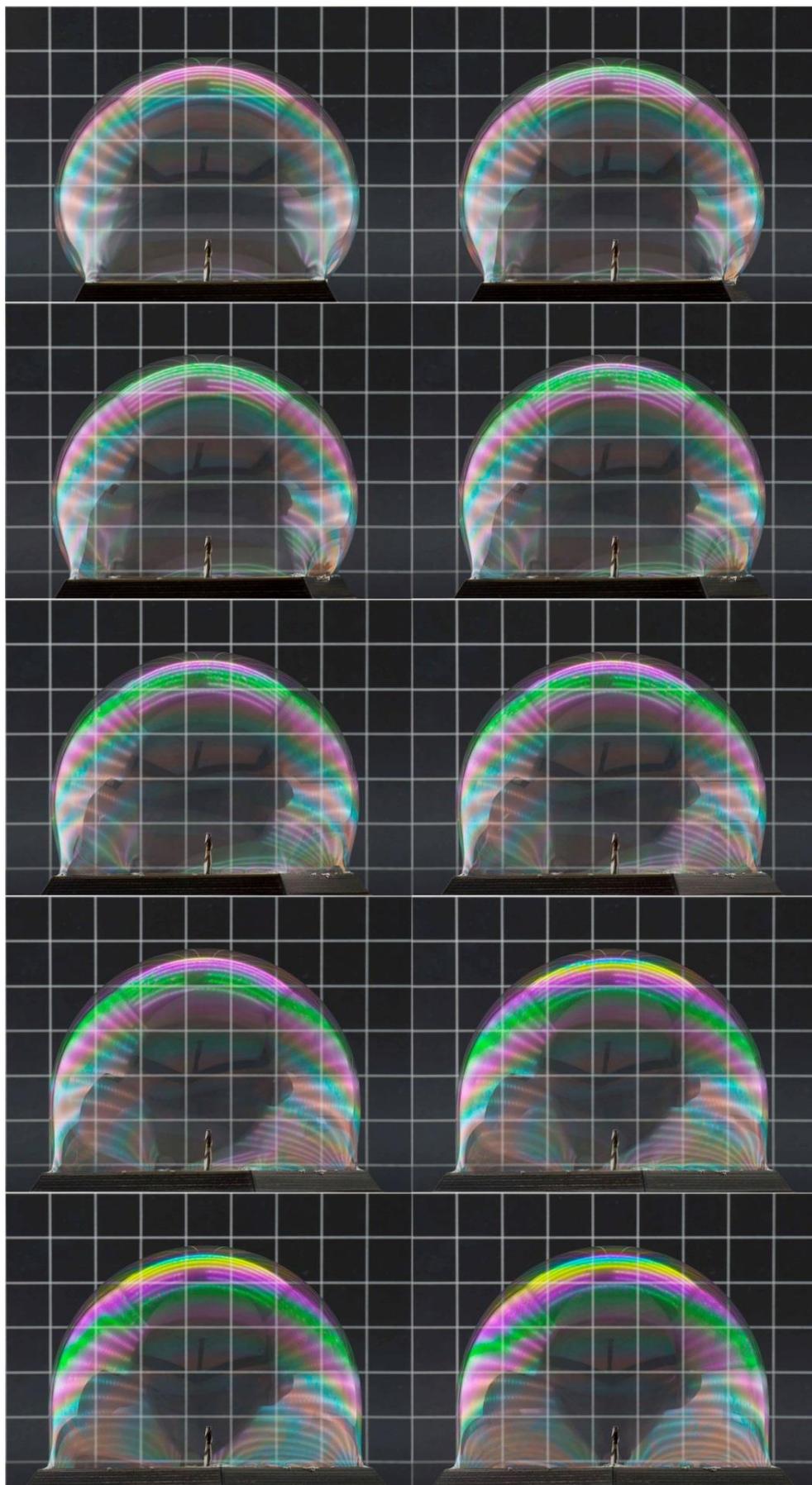


Figura 59 - Fotos posicionadas a 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40° e 45°

As fotos diretamente tiradas da máquina não podem ser usadas devido às deformações óticas. Existem alguns tipos de deformação óticas. No caso apresentado, três são as principais (figura 60): *Barrel Distortion*, *Pincushion Distortion* e *Moustache Distortion* (JOHNSON, 2006). Tais deformações são resultado da distância focal da câmera e a transposição de um ambiente tridimensional para um sensor bidimensional. Dessa forma, as imagens “cruas” são levadas a um software de manipulação de imagem.

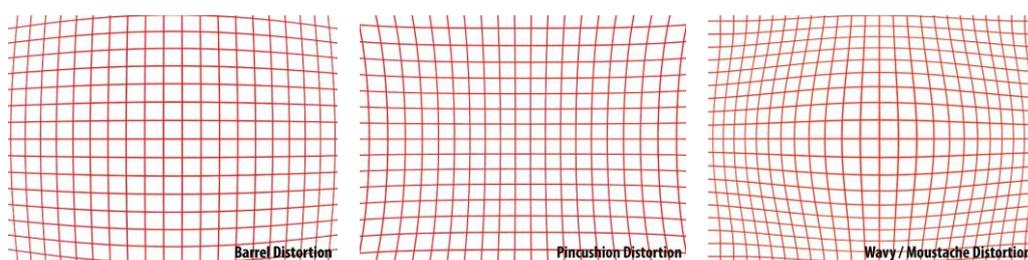


Figura 60 - Distorções óticas: Barrel, Pincushion, Wavy/Moustache (MANSUROV, 2013)

No software de manipulação de imagem, a retícula ortogonal, posicionada atrás da bolha, é usada para entender que tipo de distorção ocorreu na imagem. Para tal uma nova retícula perfeitamente ortogonal é desenhada em uma nova camada de modo a comparar ambas, e servir de base para um procedimento de “contra deformação” (figura 61).

Desse modo, utilizando ferramentas de transformação – como skew, distort e warp – A retícula quadrangular fotografada com a bolha é novamente transformada em uma retícula ortogonal perfeita, seguindo àquela desenhada no software. A contra deformação da retícula fotografada afeta toda a imagem trazendo as curvas perimetrais da forma de volta às verdadeiras dimensões (figura 62).

Com as curvas reais obtidas, as cores da imagem são manipuladas de modo a incrementar a visualização dessas linhas. Uma *spline* é, então, desenhada sobre a imagem, seguindo a curva contra deformada. Essa *spline* tem as dimensões e direções muito próximas às curvas reais da forma do filme de sabão, e assim pode ser utilizada como elemento de parametrização da forma. Uma comparação entre uma captura feita pelo aparato do IL e a captura digital proposta aqui, pode ser vista na figura 63.

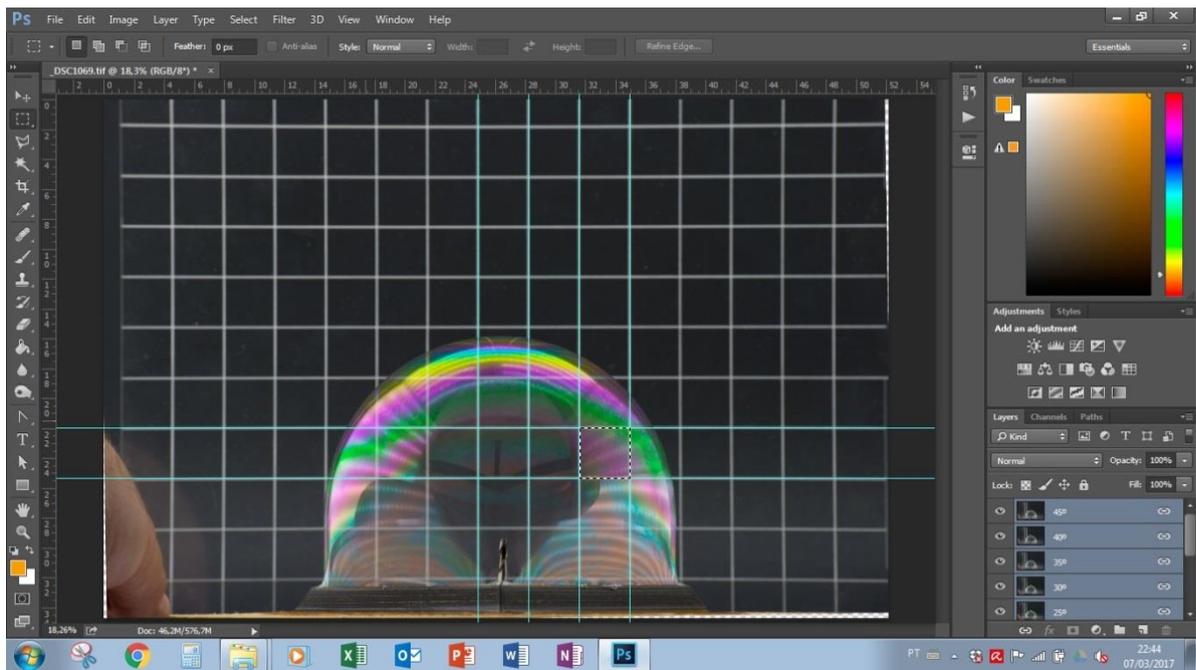


Figura 61 - Retícula ortogonal perfeita desenhada eletronicamente para o processo de contra deformação

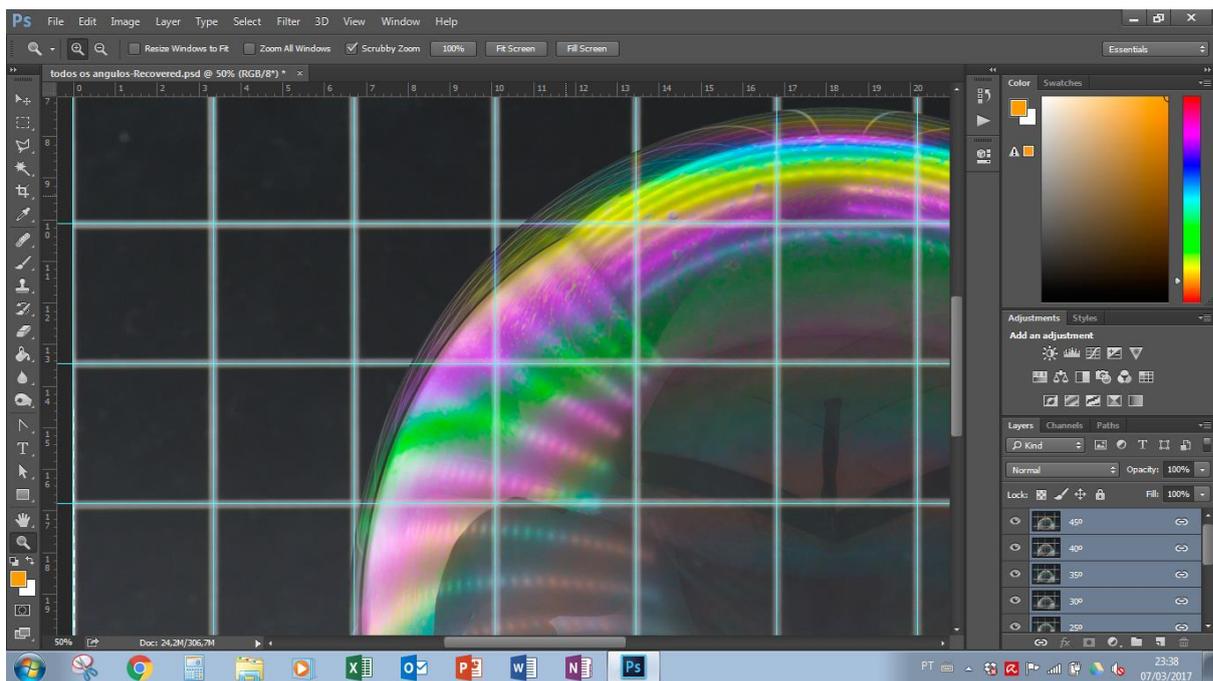


Figura 62 - Imagem resultante do processo de contra deformação

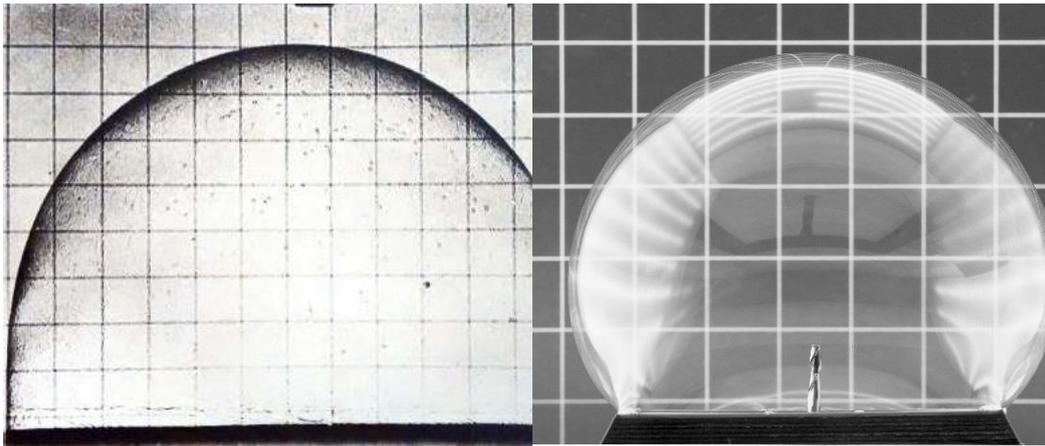


Figura 63 - Captura feita pelo aparato do IL e captura resultante do processo digital proposto

A partir desse ponto dois caminhos podem ser tomados: uma modelagem mecânica direta; ou uma modelagem eletrônica. No caso da modelagem direta, as *splines* são impressas, ou plotadas, em qualquer tamanho pretendido, e assim, folhas e/ou pranchas podem ser cortadas e organizadas nos respectivos ângulos de modo a produzir um modelo em estado mecânico (figura 66). No caso da modelagem eletrônica, as *splines* são levadas a um software de modelagem 3d, onde dispostas de acordo com a base e os respectivos ângulos, são trabalhadas de modo a criar um modelo em estado eletrônico, o qual pode ser usado para medições, renderizações, impressão 3d e análise estrutural (figura 65).

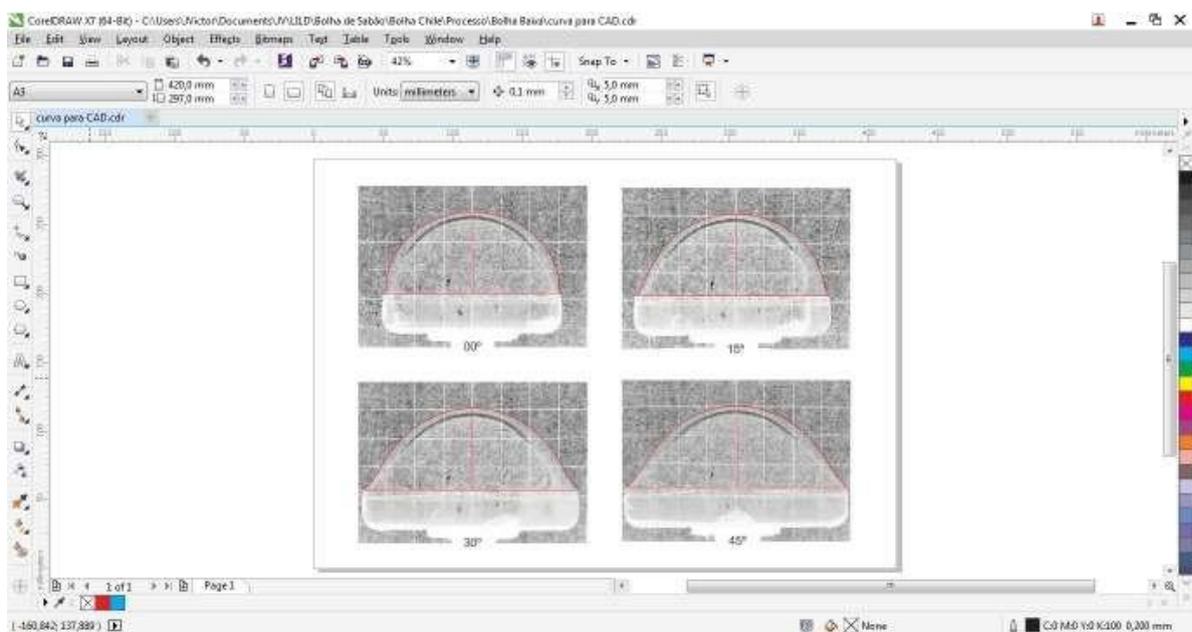


Figura - Splines desenhadas sobre a forma contra deformada

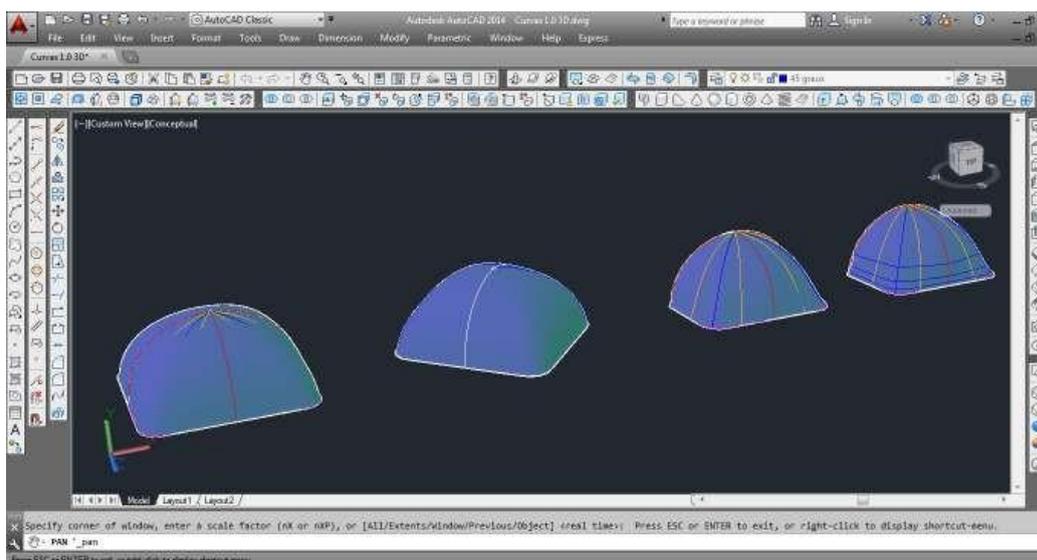


Figura 65 - Modelo em estado eletrônico



Figura 66 - Modelo em escala feito por splines impressas e modelo em escala cortado no laser como resultado de um modelo eletrônico

## 6

### Desdobramentos

#### 6.1 Sistema Modular

A criação de um sistema pré-fabricado, baseado em elementos modulares, para a aplicação em novas moradias acessíveis e construídas por meio de autoconstrução, é um dos desdobramentos possíveis desse trabalho. O sistema tem como princípios a flexibilização e a pré-fabricação. Propõe ainda a abertura de espaço para o princípio participativo. E no exemplo aqui citado, foram utilizados como referenciais de experimentação o Programa Minha Casa Minha Vida e propostas de trabalhos do grupo chileno “Elemental”.

##### 6.1.1.Minha casa minha vida

Minha Casa Minha Vida (MP n. 459, 25/03/2009) é um Pacote Habitacional lançado pelo Governo Federal em abril de 2009 para financiar a produção de moradias. A meta é a construção de 1 milhão de habitações, priorizando famílias com renda de até 3 salários mínimos.

O programa ouviu especialmente os empresários de construção e parte das contradições que apresenta derivam desse fato. Uma das tipologias padrão, Tipologia 1, casa térrea tem 35 m<sup>2</sup> e adota os parâmetros listados abaixo:

- Compartimentos: sala, cozinha, banheiro, 2 dormitórios, área externa com tanque.
- Área da unidade: 35 m<sup>2</sup>.
- Área interna: 32 m<sup>2</sup>.
- Piso: cerâmico na cozinha e banheiro, cimentado no restante.
- Revestimento de alvenarias: azulejo 1,50m nas paredes hidráulicas e box. Reboco interno e externo com pintura PVA no restante.
- Forro: laje de concreto ou forro de madeira ou pvc.
- Cobertura: telha cerâmica.

- Esquadrias: janelas de ferro ou alumínio e portas de madeira.
- Dimensões dos compartimentos: compatível com mobiliário mínimo.
- Pé-direito: 2,20m na cozinha e banheiro, 2,50m no restante.
- Instalações hidráulicas: número de pontos definido, medição independente.
- Instalações elétricas: número de pontos definido, especificação mínima de materiais.
- Aquecimento solar/térmico: instalação de kit completo.
- Passeio: 0,50m no perímetro da construção.

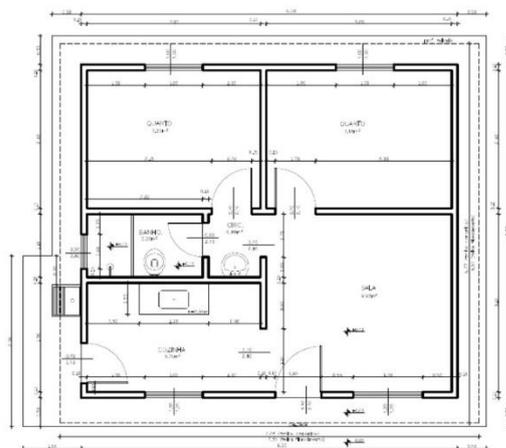


Figura 67 - Exemplo da tipologia 1 – Casa térrea. Padrão rígido, inflexível e imposto à população, carrega contradições do mercado imobiliário

### 6.1.2. Experiência do Escritório Elemental - Habitação Social Quinta Monroy

O escritório chileno Elemental destaca duas questões em seus projetos: a necessidade da simplicidade e a importância do processo participativo (ARAVENA & IACOBELLI, 2016). O governo chileno convidou o escritório para realojar 100 famílias que ocupavam ilegalmente um terreno de 0,5 hectares no centro de Iquique, no norte do Chile. Além desse desafio desejava-se ainda que a população não fosse transferida para a periferia, o que significa a compra de um terreno três vezes mais caro que o usual para habitações de interesse social.

Os recursos disponíveis para a realização do projeto eram provenientes do programa do Ministério de Habitação, chamado *Vivienda Social Dinâmica sin Deuda* (VSDsD) -Habitação Social Dinâmica sem Dívida e deveriam financiar a compra do terreno, os trabalhos de infraestrutura e o de arquitetura. Este recurso permite a construção de apenas 30 m<sup>2</sup>.

Existiam basicamente três caminhos padrão para a construção desse tipo de empreendimento:

1. Implantação de uma casa por lote, o que permitiria alocar somente 30 famílias no terreno porque, com a tipologia de casas separadas, o uso do solo é extremamente ineficiente;
2. Implantação de uma casa por lote, buscando um uso mais eficiente do solo. Reduz-se o tamanho do lote até igualá-lo com a área da casa, no entanto o resultado é o amontoamento;
3. Verticalizando os edifícios o que não permitiria que as habitações pudessem ser ampliadas futuramente.

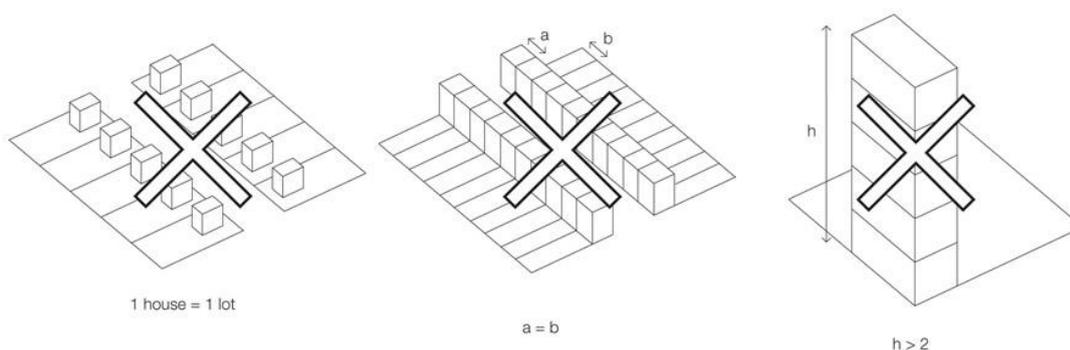


Figura 68 - possibilidades descartadas para a VSDsD

A solução foi mudar a forma de pensar o problema: em vez de projetar a menor unidade possível, de US\$ 7500 e multiplicá-la 100 vezes, pensou-se qual seria o melhor edifício, de US\$7500, capaz de abrigar 100 famílias e suas respectivas ampliações.

Ao invés de olhar o problema da habitação como um gasto, o grupo tratou a questão como um investimento social. O projeto conseguiu identificar um conjunto de diferentes desenhos arquitetônicos que permitem esperar que a habitação se valorize com o tempo. Foi adotada a tipologia da casa semi-pronta onde térreo e o último pavimento poderão expandir-se futuramente. Optou-se assim por um edifício que tivesse, somente, o térreo e o último andar. Ao invés de fazer uma moradia pequena (30m<sup>2</sup>), foi projetada uma habitação de classe média, a qual foi entregue somente uma parte. Neste sentido, as partes mais onerosas da casa, tais como: banheiro, cozinha, escadas e paredes divisórias. Sendo projetadas para o estado final (uma vez ampliado), para uma habitação de 70 m<sup>2</sup>.

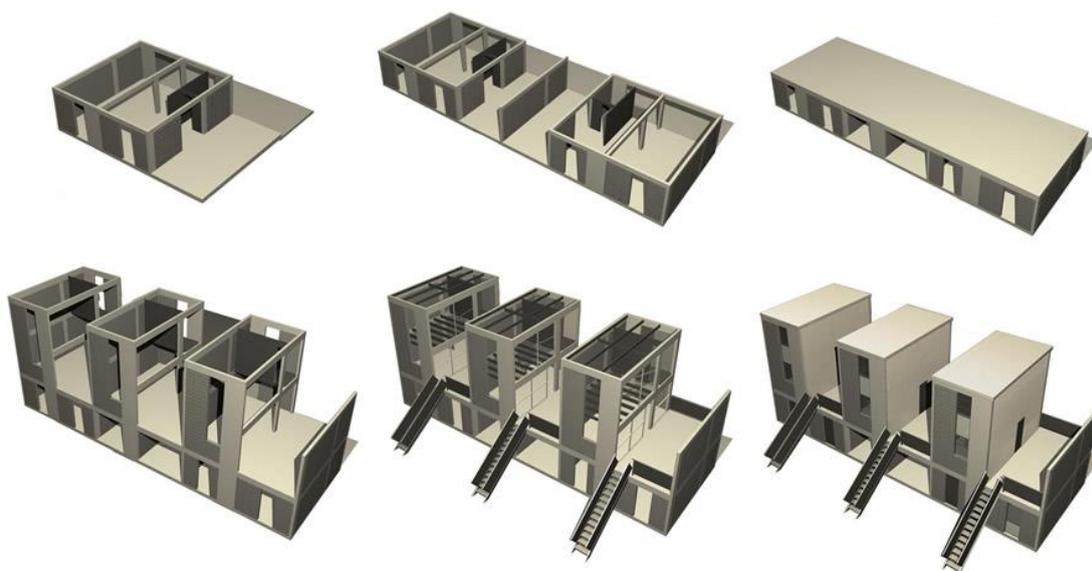


Figura 69 - Etapas de Construção - Tipologia da "casa semiconcluída"

### 6.1.3. Proposta Conceitual

A partir do estudo dos modelos apresentados (Minha casa minha vida e Habitação Social Quinta Monroy), aliado ao conceito de bolha, buscou-se a conjugação de soluções para estabelecer uma nova proposta que adotasse os seguintes princípios:

- Adaptabilidade
- Flexibilidade
- Estrutura pré-fabricada
- Acessibilidade
- Processo participativo

Partiu-se então para o estudo do dimensionamento dos espaços tendo como ponto de partida o módulo básico proposto de 2.10 x 0.70m.

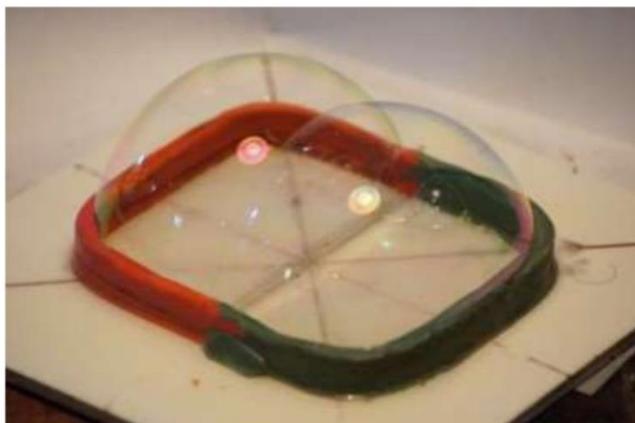
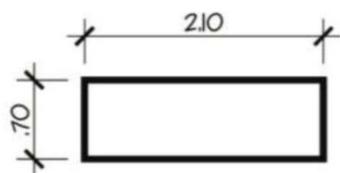
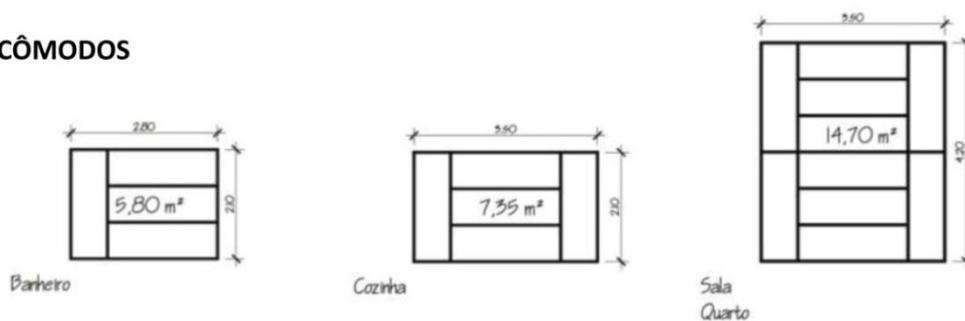
**MÓDULO****CÔMODOS**

Figura 70 - Módulo e constituição dos cômodos

### 6.1.3.1. Estudo Encaixe

O fato de as bolhas terem um comportamento de encontro formando ângulos de 120°, parte-se então para as propostas de encaixes entre os cômodos e possíveis expansões. Também foram levados em consideração a adaptabilidade, o conforto térmico e ventilação, além do aproveitamento útil em altura. Essa lógica permite também expansões futuras, muito comuns nesse tipo de habitações.

**ENCAIXE:**

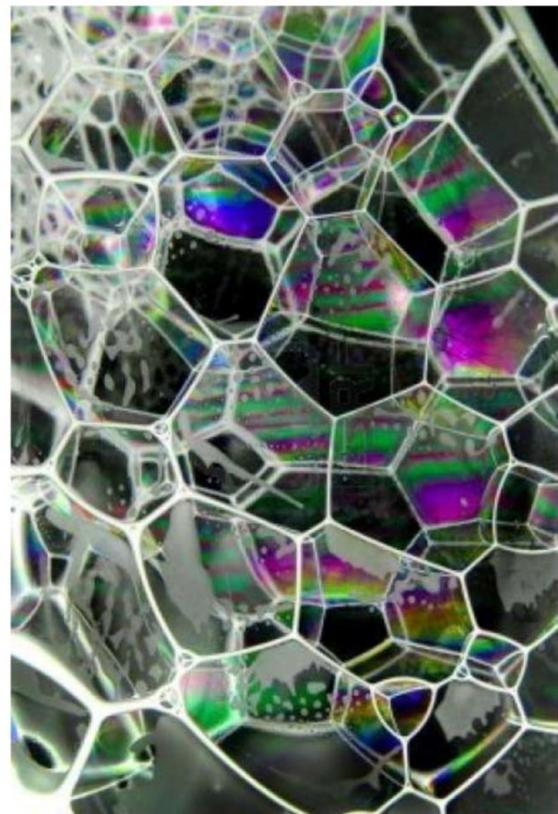
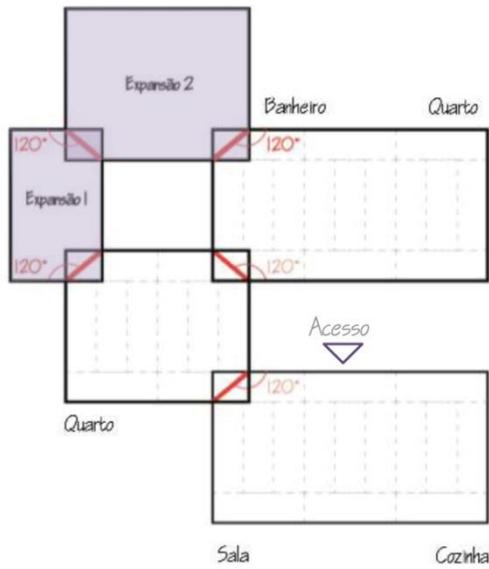


Figura 71 - modo de encaixe entre os módulos

**ADAPTABILIDADE:**

Conforto Ambiental

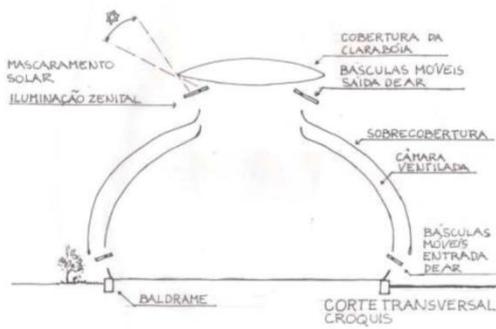
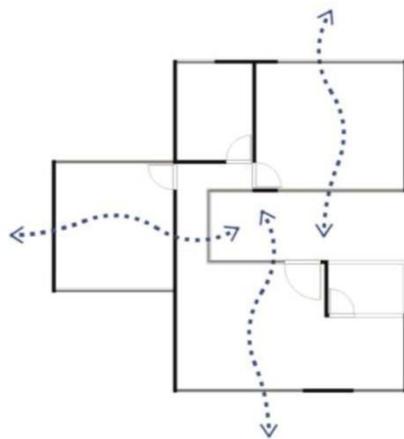


Figura 72 - Conforto Ambiental



Figura 73 - modelo em estado mecânico das possíveis organizações dos cômodos e módulos de vedação.

#### 6.1.4. Vedação

O desenvolvimento do novo material chamado ‘Fibrosolo’ e, posteriormente, renomeado ‘Fibrobarro’, abriu novas possibilidades para as técnicas de construção, com terra crua, existentes (LEME, 2003;2008). A terra crua, utilizada nas arquiteturas desde tempos remotos, até hoje existe como material de construção em grande parte do globo. No entanto, suas técnicas de aplicação, apesar de ser amplamente aperfeiçoadas, pouco foram modificadas em sua essência. A construção com terra sempre esteve ligada a construções pesadas - devido ao volume de material aplicado e seu peso específico – e de grande custo energético – principalmente, em relação à mão de obra (RIPPER, LEME, & CORREIA DE MELO, 2014).

Protótipos feitos de fibrobarro, em condições de uso, se apresentam em mantas embobináveis com espessuras da ordem de um centímetro. Constituem superfícies de proteção, ou seja, superfícies que ao mesmo tempo funcionam como vedação e estrutura de construções arquitetônicas. Podem ser utilizadas em camadas simples ou em camadas duplas, fazendo um sanduíche, com miolo de material leve

e isolante térmico (TEIXEIRA FILHO, 2013).

Pode-se dizer que a causa estrutural preponderante deste compósito está nas fibras e não na terra. Fibrosolo é, portanto, um nome concebido com o propósito de responder a um material compósito, que associa terra crua com grande quantidade de fibra vegetal. Estas fibras participam nos compósitos de fibrosolo em uma dosagem, proporcionalmente, muito maior do que o comum das técnicas tradicionais que se utilizam de terra crua.

Destacam-se, deste modo, as seguintes propriedades plásticas para esse compósito, consequência da configuração, disposição ou padrão de fibras, do modo de aplicação do barro e sua consistência pastosa: a) transportabilidade: as peças são facilmente transportáveis ao local de aplicação; b) moldabilidade: colocada sobre um molde, assume qualquer geometria; c) maleabilidade: propriedade plástica associada à flexibilidade da unidade, à facilidade com que a unidade pode ser dobrada e encurvada no espaço; d) ajustabilidade interna: admite deslocamentos relativos internos das fibras em relação ao barro, para efetuar correções; e) reversibilidade: pode-se obter o material original, após a secagem, bastando-se para isso, que se umedeça a peça (RIPPER, LEME, & CORREIA DE MELO, 2014).



Figura 74 - processo construtivo com fibrobarro

#### 6.1.4.1. Pré-fabricação

Alguns experimentos avançaram na busca de formas modulares como placas e cascas, objetivando atender a sistemas de montagem e projetos de pré-fabricação em série. A característica de leveza, diminuição de matéria-prima na produção, fácil manuseio, montagem simples, boa transportabilidade e baixo impacto ambiental

são condições que mostram uma adequabilidade excelente aos processos construtivos convencionais e já conhecidos. Placas contraplacadas e/ou revestidas com acartonados, papéis e tecidos, além das confeccionadas com tacéis em resina de mamona, mostraram uma eficiência que permite recuperar a mesma autonomia percebida no homem do campo (RIPPER, LEME, & CORREIA DE MELO, 2014).



Figura 75 - modelo em módulos pré-fabricados



Figura 76 - modelos dos módulos pré-fabricados montados

## 6.2. Superfície de produtos

Outro desdobramento desse processo está ligado ao desenvolvimento de produtos. A Maré é uma empresa que fabrica e projeta produtos que visam uma redução de seu impacto ambiental. Atualmente a maré atua no mercado de relógios de pulso feitos em madeira. Todos os materiais e processos são pensados para reduzir o consumo de energia e matéria prima. Os mesmos são confeccionados por meio da fabricação digital (ANDERSON, 2012).

Já tendo um uma linha básica, a empresa desenvolveu uma nova linha, na qual, além dessa preocupação estar presente no processo, ela deveria estar presente também no desenho do relógio. Desse modo, a linha “maré mínimo”, foi desenvolvida com esse intuito.

A forma geral foi desenhada buscando reduzir os processos de máquina e acabamentos. No momento de fechar a superfície geral do objeto para a geração da malha tridimensional para a fabricação digital, o software não respondeu devido à complexidade envolvida.

Desta forma, recorreu-se ao processo aqui proposto. Em um primeiro momento foi impresso em 3D o perímetro da superfície que deveria ser descrita (figura 77). A partir desse dispositivo, todo o processo foi aplicado, levando a parametrização das duas superfícies que compunham a peça (figura 78). Assim foi possível fechar o modelo eletrônico do relógio, o que permitiu sua fabricação por

meio de router CNC e também em impressão 3D FDM (duas tecnologias de fabricação digital distintas (ANDERSON, 2012)).

Um ponto interessante desse desenvolvimento é que, como já exposto, as superfícies mínimas naturalmente tendem a se reduzir, e com isso reduzem o consumo de energia e material para se constituírem. Essa característica está em total acordo com os preceitos da empresa e do desenvolvimento de seus produtos, trazendo mais um elemento nessa busca pela redução do impacto ambiental.

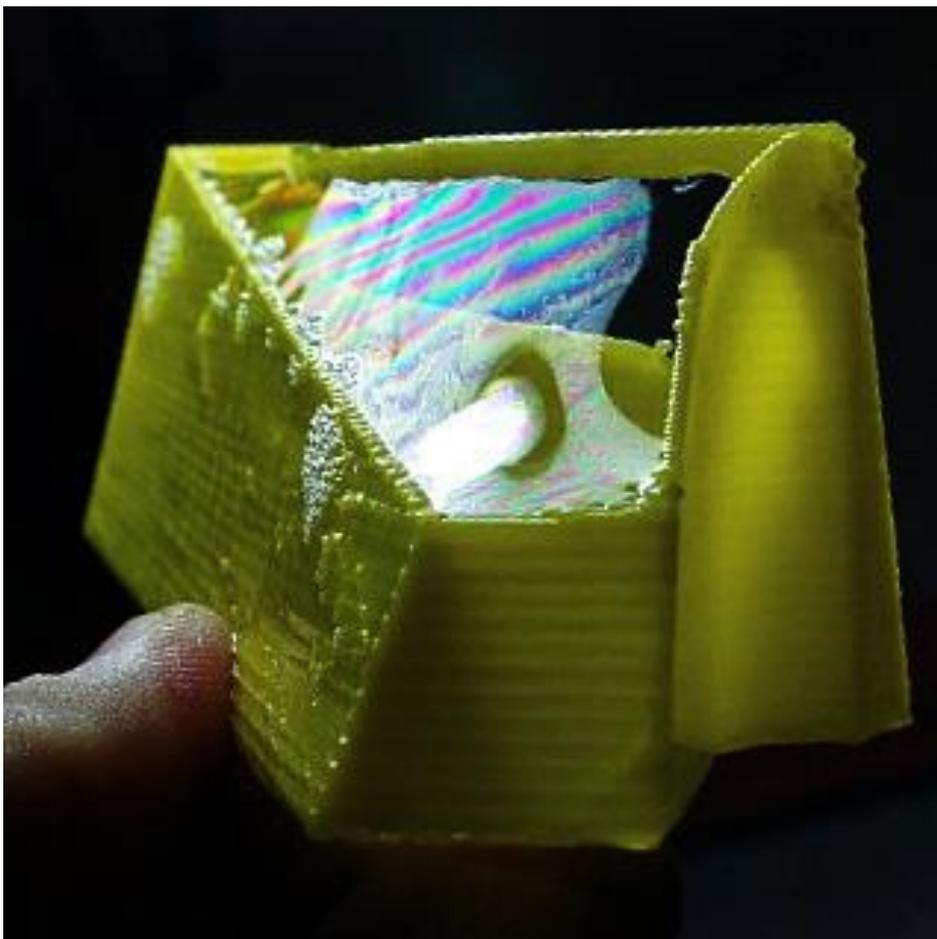


Figura 77 - Perímetro impresso para captura

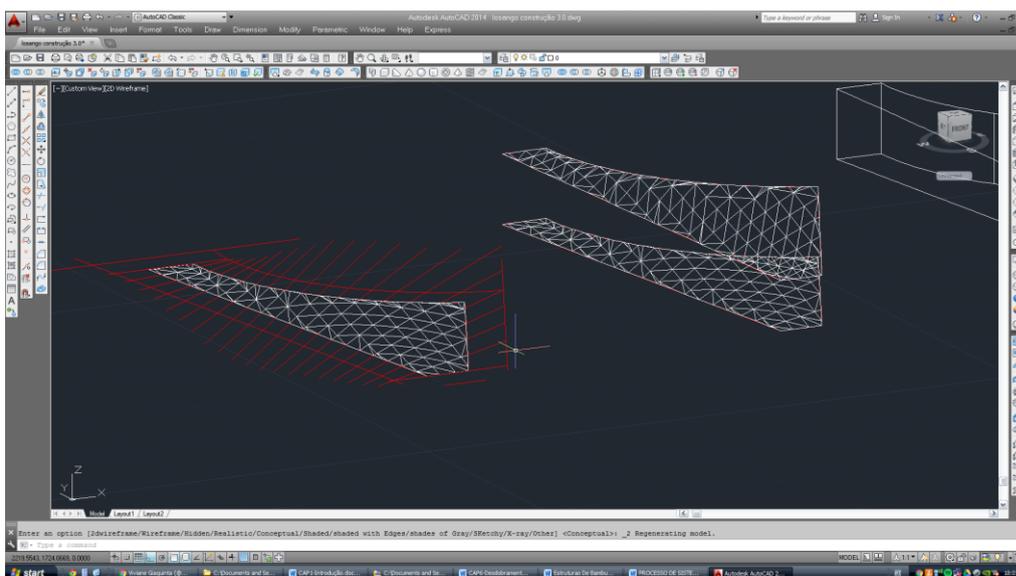


Figura 7890 - Parametrização da superfície



Figura 79 - Relógio acabado

9.

## Considerações Finais

No meio-ambiente, que é o espaço conhecido (LEFEBVRE, 2000), o objeto existe não só em sua concretude, mas também existe no pensamento do ser, em estado abstrato. Nesse estado abstrato, o objeto é controlado livremente pela mente. No estado concreto, interage livremente com o meio físico e social. O indivíduo em suas atividades diárias interage forçosamente com o objeto nessas duas modalidades: a abstrata e a concreta, que se dão isoladamente em tempos diferentes, ou praticamente conjugadas. Qualquer movimento corporal humano, para ser executado, necessita da ação, de um agente, e do objeto. Todo o ato é, então, uma INTERAÇÃO.

O homem vive em dois domínios: o mental, teórico, do pensamento; e o mundo da matéria, da gravidade, o mundo concreto. No mundo mental, o objeto está em estado abstrato. A velocidade e a potência das coisas são controladas pelo pensamento, varia conforme à vontade, e dessa forma, as distâncias e fronteiras não existem, em pensamento pode-se estar em qualquer lugar. Fora da mente, do pensamento, o objeto está em estado concreto. No mundo físico, os limites são práticos, determinados pelas suas concretudes, e não são controlados pela vontade, o objeto concreto interage com as ações do meio onde está inserido. Nesse estado o ser não mais o controla. De acordo com o tipo de mentalidade e seu momento pessoal, como posicionamento físico (sentado, deitado, andando, em um ônibus, em uma oficina), o sujeito interage com o objeto em estado abstrato ou concreto.

Conforme o caráter particular do indivíduo, ele tende a adequar suas atividades de maneira a manter o objeto do seu trabalho no estado de sua preferência: em pensamento, PURO; ou em interação com o objeto, APLICADO. Nesse sentido temos no primeiro caso o Pensador, Homo Sapiens, relativo ao

objeto no abstrato, e o Fazedor, *Homo Faber*, relativo ao objeto no concreto.

Pensar o objeto, e fazer o objeto, são ações diferentes, complementares, interdependentes e constantes. No entanto, quando se trata de um grupo de indivíduos pertencentes a qualquer instituição que reúne pessoas, no caso a unidade escolar, pode-se notar pouca sintonia entre as pessoas do grupo voltadas para atividades ligadas ao objeto abstrato e aquelas que preferem passar a maior parte do tempo dedicadas ao objeto concreto. Nas escolas de design a própria grade curricular discrimina as matérias dividindo-as em dois grupos: matérias teóricas (entenda-se matérias teóricas aquelas em que o objeto é abstraído de sua concretude, e está num nível mental) onde o objeto é abstrato; e matérias práticas, onde o objeto é concreto. O equilíbrio entre as duas parcelas formadas é assunto de discussões intermináveis, como se pode constatar nas histórias das instituições.

Como é apontado por HUXLEY (1954), o homem é um “anfíbio” que vive simultaneamente em dois mundos — o mundo da realidade e o mundo por ele próprio fabricado — o mundo da matéria, da vida e da consciência; e o mundo dos símbolos. Quando pensa, faz uso de grande variedade de sistemas de símbolos: linguísticos, matemáticos, pictóricos, musicais, ritualísticos. Sem esses sistemas de símbolos, não teria arte, nem ciência, nem lei, nem filosofia, nem sequer os rudimentos da civilização; em outras palavras, seria animal.

Por outro lado, esse domínio do abstrato/simbólico pode acabar por afastar cada vez mais o homem da realidade concreta, afinal, “por existirem inúmeras coisas fora do alcance da compreensão humana (...) frequentemente utilizamos termos simbólicos como representação de conceitos que não podemos definir ou compreender integralmente” (JUNG, 2008, p. 19), e assim, “a maioria de nós transfere para o inconsciente todas as fantásticas associações psíquicas inerentes a todo objeto e toda ideia” (p. 49). Dessa forma, o mundo abstrato torna-se extremamente sedutor, afinal a interação deixa de ser entre o ser e a natureza incontrolada, e passa a ser entre o ser e o ser, o que traz um maior domínio sobre o objeto em pesquisa, pois, como dito, seu controle é exclusivo da mente.

Dessa lógica, surge a predominância da parte pura do design na academia, nas suas pós-graduações, e alia-se ao fato de que muitos cursos têm sua origem nas áreas de ciências humanas – tradicionalmente mentais -, cujas pós-graduações serviram de modelo à nova área. A ideia de dar continuidade prática ao conteúdo

da graduação, muitas vezes objetos concretos, ou era considerada uma “atitude menor”, ou era simplesmente afastada. Soma-se a isso o caso particular do Brasil, aonde trabalhar com as mãos é “feio” e sinônimo de um trabalho “ralé”.

Em contrapartida, desenvolve-se na graduação, o que se pode chamar de “design de escritório”. O consumismo instalado no meio social invade as unidades de ensino de forma degradante, e por extensão os escritórios de design. Desse modo, a produção de conhecimento nas áreas acadêmicas destinadas ao estudo, desenvolvimento técnico, e a aplicação do objeto utilitário, está fortemente prejudicada. Disfarçado de design de aplicação, essa tipologia é totalmente voltada para a lógica industrial, o que levou a graduação a um limbo, não estando diretamente ligada a nenhuma das abordagens acima citadas. Percebe-se esse fato na análise do objeto de design em sua concretude.

Como proposto por Moreira & Ripper (2014), pode-se entender o objeto como um texto, ou seja, nele está presente uma estruturação, a sintaxe, que remete a conteúdos particulares, a semântica. Assim como o texto, o objeto só é entendido em sua totalidade por meio da união indissociável da sintaxe, conteúdo aplicado, e da semântica, conteúdo puro, em outras palavras, quando sua organização estrutural técnica se refere ao uso cultural. No entanto, a sociedade pós-moderna e sua velocidade dominante (SANTOS, 2011) colonizam por meio da técnica, transformando esta no ponto central do objeto de uso: a sintática é imposta à cultura, ou melhor, às culturas. Dessa forma, o objeto é esvaziado de semântica, suas interações tornam-se pálidas, formais, o que por consequência, esmaece todo o espaço físico deixando-o sempre em estado de necessidade, onde objetos não são acionados, e ações são impossibilitadas por falta de objetos (SANTOS, 2009; MASSEY, 2009).

Como já apontado anteriormente, o mundo instrumental desvalorizou a reflexão humana, transformando-se na grande verdade do mundo contemporâneo. Nesse sentido, o instrumento deixou de servir ao homem, para que agora o homem sirva a esse instrumento. Fator ainda mais agravante é a inserção dessa lógica também na academia. A educação e a pesquisa, tornaram-se ferramentas dessa expansão instrumentalista, moldando as novas gerações de acordo com as necessidades dessa prática, limitando, a real criatividade humana, fruto de sua reflexão livre sobre o mundo.

Surge, então, um problema ainda maior. O pensamento não tem um limite,

e quanto mais se entra no mesmo, mais pensamentos surgem, tendendo ao infinito. Dessa forma, quando esse “design de escritório” se entranha na abordagem pura do design cria-se uma falsa noção de avanço científico do pensamento, ou, do objeto em estado abstrato. Ainda que se possa falar sobre um “conhecimento acumulado”, a experiência pessoal estará presa a essa concepção instrumentalista do mundo. Dessa forma, suas experiências aproveitam apenas uma fração das possibilidades existentes no universo, uma vivência curta e rígida aos paradigmas instrumentalistas. Como aponta Jung, “a despeito da nossa orgulhosa pretensão de dominar a natureza, ainda somos suas vítimas, pois não aprendemos nem a nos dominar” (2008, p. 128).

Ao longo da história, as diversas áreas de concepção e construção dos objetos vêm sendo desmembradas e, cada vez mais, perdem o contato entre si. Dessa forma, limitam-se os olhares sobre tipologias estruturais e construtivas à apenas determinadas áreas. O design trata apenas de pequenos objetos, a arquitetura lida com grandes construções, assim como, a engenharia industrial concretiza o primeiro, e a engenharia de estruturas, a segunda. Essa falsa linearidade cria nichos de atuação e dogmas construtivos que impedem as interações e novas abordagens sobre o objeto construído.

Por isso, propõe-se um novo olhar sobre a concepção e construção dos objetos. Diferente dos métodos vigentes, que trazem a lógica da grande construção para os pequenos objetos, o método aqui relatado subverte essa ordem: foca-se no pequeno buscando soluções para o grande.

Essa é a exemplificação de apenas um desencadeamento da observação de formações naturais que, sem dúvidas, ainda não se esgotou e, provavelmente, não se esgotará. Vale lembrar que este processo não é linear e não é o único em desenvolvimento nos laboratórios, e por esse fato sofre total influência – proposital – dos demais.

Esse método, que envolve o estudo teórico-prático dos objetos, se dá em dois meios: no ambiente de laboratório, e no meio real de uso. Essa observação se mostra importante pelo fato de que a avaliação de um objeto deve ser feita não somente no próprio, isoladamente, mas dentro de um sistema onde o mesmo é acionado. Sempre parciais, essas avaliações se dão nas idas e vindas que o objeto em gestação perfaz entre o meio de laboratório, também chamado meio situacional, e o momento de seu uso na cultura, ou melhor, culturas para as quais

foi destinado. É nesta interface entre os seus dois momentos de existência que o objeto pode ser entendido, explicado e questionado.

Fica, então, o convite a vislumbrar os futuros possíveis. Baseadas na natureza, as arquiteturas, e os urbanismos, tornam-se fluídos, integrados ao mundo orgânico e temporário em que vivemos. Um futuro menos pesado, de construir e de suportar. Ou talvez, o melhor convite seja olhar para o passado...e ter certeza desse futuro.



Figura 80 - Tenda de índios norte-americanos (Saux e Apache). Foto tirada em por K. T. Dodge em 1899 (HATTON, 1979)

## 6 Referências Bibliográficas

ADRIAENSSENS, S., & BARNES, M. (2001). Tensegrity spline beam and grid shell structures. *Engineering Structures*, pp. 29-36.

ALBUQUERQUE, H. C. (2003). *A Representação do Projeto de Produto: meios tradicionais e o uso da computação gráfica*. Rio de Janeiro: Dissertação (mestrado em Artes e Design) - Orientadora: Rejane Spitz - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

ALVARES, L. R. (2008). *Cúpula Catenária de "Fibrobarro" estruturado com bambu - Concepção e Processo Construtivo*. Rio de Janeiro: Dissertação (Mestrado em Artes e Design) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

ANDERSON, C. (2012). *A Nova Revolução Industrial: Makers*. Rio de Janeiro: Elsevier.

ARAVENA, A., & IACOBELLI, A. (2016). *ELEMENTAL: INCREMENTAL HOUSING AND PARTICIPATORY DESIGN MANUAL*. Santiago: Hatje Kantz.

ARGAN, G. (1992). A História na Metodologia do Projeto. *Caramelo - FAU-USP*.

ASENSIO, A. (03 de Maio de 2013). *Ciudad Abierta de Ritoque, paisaje habitado / 44 años después*. Acesso em 25 de Novembro de 2015, disponível em Plataforma Arquitectura: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-257144/ciudad-abierta-de-ritoque-paisaje-habitado-44-anos-despues>

BACH, K., BEREITER-HAHN, J., GUTMANN, W., HELMCKE, J.-G.,

NACHTIGALL, W., OTTO, F., . . . SCHILL, R. (1977). *IL9 - Pneus in nature and technichs*. Stuttgart: Institut für Leichte Flächentragwerke (IL).

BACH, K., BURKHARDT, B., & OTTO, F. (1987). *IL18 - Seifenblasen/Forming Bubbles*. Stuttgart: Institut für Leichte Flächentragwerke (IL).

BAUDRILLARD, J. (1991). *Simulacros e Simulações*. Lisboa: Relógio D`Água.

BECHTOLD, M. (2008). *Innovative Surface Structures\_ Technologies and Applications*. New York: Taylor & Francis.

BOYS, C. (1959). *Soap Bubble: Their Colors and Forces Which Mold Them*. New York: Dover.

BUBNER, E. (1974). *Arquitectura Adaptable*. Resumen histórico. Em f. OTTO (Ed.), *Arquitectura Adaptable* (p. 7). Stuttgart: Gustavo e Gili.

CAMPOS, D. M. (2009). *Design de estruturas reticuladas de bambu geradas a partir de superfícies mínimas*. Rio de Janeiro: Dissertação (Mestrado em Artes e Design) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

CAMPOS, D. M., & MELO, J. A. (2011). Square-based Bamboo Dome Based on Geodesics. *IC-NOCMAT-2011 Book of Abstracts*, (p. 12). Changsha, China.

CAMPOS, D. M., & MELO, J. V. (2010). Domo de bambu de base quadrada derivado da geodésica. *II Seminário Brasileiro do Bambu - Anais*, (p. 20). Rio Branco - AC.

CORREIA DE MELO, J. (2011). *Modelos em linguagem mecânica e modelos em linguagem eletrônica: as interações na metodologia do LILD*. Riode Janeiro: Dissertação de Mestrado - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

CORREIA DE MELO, J. V., RIPPER, J. M., & TEIXEIRA, W. (2012). Obtenção de casca estrutural de bambu e barro baseada na bolha de sabão. *Mimeo*, (p. 12). Rio de Janeiro.

CORREIA DE MELO, J. V., RIPPER, J. M., & YAMAKI, R. T. (2012). Formfinding Process for Bamboo Structures. *World Bamboo Congress*, (p. 12).

Antwerp.

CORREIA DE MELO, J., RIPPER, J., & MOREIRA, L. (2013). Development of Bamboo Structures Based on Minimal Surfaces and Natural Formations. *IASS Symposium 2013 - Beyond Limits of Man*, (p. 8). Wroclaw.

CUNHA, G. J. et al. (1987). *Computação Gráfica e suas aplicações em CAD*. São Paulo: Atlas.

DIERKES, U., HILDEBRANDT, S., & SAUVIGNY, F. (2010). *Minimal Surfaces*. New York: Springer Heidelberg Dordrecht.

ENGEL, H. (2003). *Sistemas Estruturais*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S.A.

Escuela de Arquitectura UCV. (1992). Ritoque: Ciudad Abierta (1969 hasta la Actualidad). *Revista Arquitectura Panamericana Nº 1*, pp. 130 – 141.

FLUSSER, V. (2007). *O Mundo Codificado*. São Paulo: Cosac Naif.

FLUSSER, V. (2011). *Filosofia da Caixa Preta*. São Paulo: Anna Blume.

FORTY, A. (2007). *Objetos de Desejo - design e sociedade desde 1750*. São Paulo: Cosac Naify.

FOUCAULT, M. (1988). *Isto Não é Um Cachimbo*. Rio de Janeiro: Paz e Terra.

FREIRE, P. (2011). *Pedagogia do Oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra.

GRÜNDIG, L., MONCRIEFF, E., SINGER, P., & STRÖBEL, D. (June de 2000). High Performance Cutting Pattern Generation of Architectural Textile Structures. *IASS-IACM 2000 - Fourth International Colloquium on Computation of Shell & Spatial Structures*, (p. 15). Chania-Crete, Greece.

HARVEY, D. (1993). *A Condição Pós-moderna*. São Paulo: Edições Loyola.

HATTON, E. (1979). *The Tent Book*. Boston: Houghton Milfflin Company.

HUXLEY, A. (1954). *Foreword in: Krishnamurti, J. The First and Last Freedom*. Londres: Gollancz.

ILEK. (02 de Março de 2017). *Institute for Lightweight Structures and Conceptual Design*. Fonte: University of Stuttgart: [https://www.uni-stuttgart.de/forschung/orp/inst\\_profile/fak02/ilek.en.html](https://www.uni-stuttgart.de/forschung/orp/inst_profile/fak02/ilek.en.html)

ILLICH, I. (1976). *A Convivencialidade*. Lisboa: Publicações Europa-América.

IOMMI, G., & CRUZ, A. (1983). CIUDAD ABIERTA: DE LA UTOPIA AL ESPEJISMO. (P. U. Chile, Ed.) *Revista Universitaria*, pp. 17-25.

JOHNSON, C. (2006). *Science for the Curious Photographer: An Introduction to the Science of Photography*. Taylor & Francis,.

JUNG, C. (2008). *O homem e seus símbolos*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.

KANT, I. (2009). *Crítica da Razão Pura*. São Paulo: Martins Claret.

KROPOTKIN, P. (1995). *The Conquer of the Bread*. New York: Vanguard Press.

LEFEBVRE, H. (2000). *La production de l'espace*. Paris: Éditions Anthropos.

LEITE, C. T. (2003). *Estética Sencorial Não Visual: Percepção do Belo Háptico*. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

LÉVY, P. (2001). *O que é o Virtual ?* São Paulo: Editora 34.

LOPES, J., AZEVEDO, S., BRANCAGLION Junior, A., & WERNER Jr, H. (2013). *Tecnologias 3D: Desvendando o passado, medelando o futuro*. Rio de Janeiro: Lexikon.

LOTUFO, V. A., & LOPES, J. M. (1982). *Geodésicas e cia*. São Paulo: Projeto Editores Associados.

MANSUROV, N. (11 de August de 2013). “*What is Distortion?*,”. Fonte: Photography Life: <https://photographylife.com/what-is-distortion>

MASSEY, D. (2009). *Pelo Espaço: Uma nova política da espacialidade*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

MIHALACHE, A. (2006). Huellas de ciudad abierta. *ARQ*, n. 64 Chile dentro y

*fuera / Chile in & out*, pp. 24-27. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962006000300005>

MONCRIEFF, E., & TOPPING, B. (27 de September de 1989). Computer Methods For The Generation Of Membrane Cutting Pattern. *Computers & Structures Vol. 37*, pp. 441-450.

MOREIRA, L. E. (2008). *Jogo das formas: ontogênese e design dos objetos*. Rio de Janeiro: Relatório de Pós Doutorado em Design (orientador: José Luiz Mendes Ripper) - PUC-Rio.

MOREIRA, L. E., & RIPPER, J. M. (2006). Coberturas em Sombrinha. *X EBRAMEM - X Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira*, (p. 15). São Carlos.

MOREIRA, L. E., & RIPPER, J. M. (2014). *Jogo das Formas - Lógica do Objeto Natural*. Rio de Janeiro: Nau Editora.

MOREIRA, L. E., CASTRO, U. R., & RIPPER, J. (2004). Mastros Compostos de tubos de Bambu reforçados com cabos de aço. *Anais do IX Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira*, (p. 12). Cuiabá.

MOREIRA, L. E., RIPPER, J. M., & CALIMAN, F. (18 de Março de 2010). ESTRUTURAS AUTOTENSIONADAS COM BAMBUS E CABOS APLICADAS A COBERTURAS AÉREAS. *Revista Gestão Universitária ed.305*, p. 19.

MOREIRA, L., & RIPPER, J. M. (2008). Tópicos para uma ciência do objeto utilitário. *Tenth International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies - NOCMAT-2008*, (p. 18). Cali.

OTTO, F. (1958). *Cubiertas Colgantes*. Barcelona: Editorial Labor.

OTTO, F. (1967). *Tensile Structures, Volume One*. Massachusetts: The M.I.T. Press.

OTTO, F. (1969). *Tensile Structures: Volume Two*. Massachusetts: MIT Press.

- OTTO, F. (1979). *Arquitectura Adaptable*. Barcelona: GG.
- OTTO, F. (1998). *IL24 - Lightweight Principle*. Stuttgart: Institut für Leichte Flächentragwerke.
- OTTO, F., & et al. (1982). *IL 15 - Lufthallenhandbuch - Air Hall Handbook*. Stuttgart: ILEK.
- OTTO, F., & RASCH, B. (1995). *Finding Form: Towards an Architecture of the Minimal*. Stuttgart: Axel Menges.
- PAES LEME, F. B., & RIPPER, J. M. (2008). Folhas de Fibrosolo: um conceito construtivo de integração e baixo impacto ambiental. *Anais 8o. Congresso Brasileiro de Pesquisa em Design* (p. 17). São Paulo: AEND|Brasil.
- PAULETTI, R. (2003). *Histório Análise e Projeto de Estruturas Retesadas*. São Paulo: Tese de Livre Docência - Escola Politécnica- USP.
- PINKALL, U., & POLTHIER, K. (1993). Computing Discrete Minimal Surfaces and Their Conjugates. *Experimental Mathematics*, p. 18.
- RIPPER, J. L., & MOREIRA, L. E. (2004). Métodos de Ensino de Design de Produtos e sua Aplicação às Estruturas da Engenharia Civil. *Conngresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*, (p. 12). Brasília.
- RIPPER, J. L., MOREIRA, L. E., & UBÉSIO, A. (1995). Cúpula Geodésica de Bambu. *Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira - Anais* (p. 12). Belo Horizonte: EEUFMG.
- RIPPER, J. M., & MOREIRA, L. E. (2006). Sombrinhas de Bambu - Domínio Construtivo. *NOCMAT 2006*, (p. 15). Salvador.
- RIPPER, J. M., CAMPOS, D. M., & CORREIA DE MELO, J. V. (26 de Junho de 2012). Textile-Architecture Structured on Bamboo Culms. *Key Engineering Materials vol. 517, 517*, pp. 189-196.
- RIPPER, J. M., CAMPOS, D. M., & MELO, J. A. (2011). Textile-architecture structured on bamboo culms. *IC-NOCMAT-2011 Book of Abstracts*, (p. 12).

Changsha, China.

RIPPER, J. M., LAZARONI, M. A., & SOUZA, T. d. (2012). A Utilização do Fibrobarro em Uma Arquitetura Efêmera. *Terra Brasil 2012 - IV Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil* (p. 12). Fortaleza: Media Ware.

RIPPER, J., CORREIA DE MELO, J., & RIPPER, L. (2012). Estruturas Autoportantes de Bambu para Arquitetura Textil. *Tensantiago*, (p. 6). Santiago.

RIPPER, L. A., CORREIA DE MELO, J., SILVA, M. F., RIPPER, J. M., GHAVAMI, K., & MOREIRA, L. E. (2013). PUC-Rio Bamboo Domes: Origins, references and innovations on the research on Non-conventional self-standing structures. *Proceedings of 14th IC-NOCMAT* (p. 12). João Pessoa: UFPB.

ROLAND, C. (1973). *Frei Otto: Estructuras*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

SANTOS, M. (2009). *A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção*. São Paulo: Editora da universidade de São Paulo.

SANTOS, M. (2011). *Por Uma Outra Globalização*. Rio de Janeiro: Best Bolso.

SOUZA, A. F., & COELHO, R. T. (2003). Tecnologia CAD/CAM - Definições e estado da arte visando auxiliar sua implementação em um ambiente fabril. (p. 8). Ouro Preto, MG: XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção.

SOUZA, R. R. (25 de abril de 2001). *O Que é, Realmente, o Virtual ?* Acesso em 20 de abril de 2011, disponível em Centro de Computação - UNICAMP - Revista de Informação e Tecnologia: <http://www.ccuec.unicamp.br/revista/infotec/artigos/renato.html>

SPITZ, R. (1993). *O papel da computação gráfica no ensino de desenho industrial: a percepção de dirigentes, docentes e alunos*. Rio de Janeiro: Tese (Doutorado em Artes e Design) Orientadora: Nícia Maria Bessa - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

STRÖBEL, D., & SINGER, P. (2005). Computational Modelling of Lightweight Structures; Formfinding, Load Analysis and Cutting Pattern Generation. *The Tenth international workshop on the design and practical realisation of architectural*

*membrane structures*, (p. 15). Berlin.

TEIXEIRA FILHO, W. (2013). *Soluções construtivas leves para arquiteturas de clima tropical úmido*. Rio de Janeiro: Tese de Doutorado PUC-Rio.

YAMAKI, R. T. (2012). *O uso da miniatura no desenvolvimento e passagem de formas técnicas: subjetividade e materialidade*. Rio de Janeiro: dissertação de mestrado (orientador José Luiz Mendes Ripper) PUC-Rio.