



Daniel Malaguti Campos

**Aplicação e ensino de tecnologias
apropriadas para a construção coletiva
de estruturas de cobertura feitas de
bambus amarrados e terra crua**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao programa de Pós-graduação em Design da PUC-Rio como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Design

Orientador: Prof. José Luiz Mendes Ripper

Rio de Janeiro
Outubro de 2013



Daniel Malaguti Campos

**Aplicação e ensino de tecnologias
apropriadas para a construção coletiva de
estruturas de cobertura feitas de bambus
amarrados e terra crua**

Tese apresentada ao programa de Pós-graduação em Design da PUC-Rio como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Design. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. José Luiz Mendes Ripper

Orientador

Departamento de Artes e Design – PUC-Rio

Prof. Fernando Betim Paes Leme

Departamento de Artes e Design – PUC-Rio

**Prof. Ricardo Beserra da Rosa Oiticica
(Em Memória)**

Pontifícia Universidade Católica – PUC-Rio

Prof. Alfredo Jefferson de Oliveira

Departamento de Artes e Design – PUC-Rio

Leonardo Menezes Xavier

Prefeitura Municipal de Paraty – RJ

Profa. Denise Berruezo Portinari

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

Rio de Janeiro, 09 de outubro de 2013

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

Daniel Malaguti Campos

Mestre em Design pela PUC-Rio em 2009, Especialista em Educação pelo CCE/PUC-Rio em 2011, participou de Seminário para formação de professores na Hebrew University of Jerusalem em 2012. Gradou-se em Desenho Industrial – Habilitação em Projeto de Produto na Escola de Belas Artes da UFRJ em 2006 e cursou Arquitetura e Urbanismo na FAU-UFRJ de 1998 a 2000. Pesquisador do Laboratório de Investigação em Livre Desenho (LILD) da PUC-Rio desde 2007, onde desenvolve pesquisa sobre estruturas leves de materiais naturais e suas aplicações. Possui experiência em estruturas de bambu e atua desde 2008 como professor na Graduação em Design e em cursos de Bioarquitetura e Permacultura.

Ficha Catalográfica

Campos, Daniel Malaguti

Aplicação e ensino de tecnologias apropriadas para a construção coletiva de estruturas de cobertura feitas de bambus amarrados e terra crua / Daniel Malaguti Campos ; orientador: José Luiz Mendes Ripper. – 2013.

145 f. : il.(color.) ; 30 cm

Tese (doutorado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Artes e Design, 2013.

Inclui bibliografia

1. Artes e design – Teses. 2. Design. 3. Arquitetura. 4. Educação. 5. Meio Ambiente. 6. Estruturas de bambu. 7. Materiais naturais. I. Ripper, José Luiz Mendes. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Artes e Design. III. Título.

CDD: 700

Para Yarusha, pela alegria de viver e amar.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor José Luiz Mendes Ripper, por me lembrar sempre que tudo que projetamos é para ser utilizado por pessoas, e que estas devem fazer parte do processo criativo. Gratidão mestre por me ajudar a ser um aprendiz.

Ao CNPQ e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos colegas do LILD, mais que colegas, uma família que acredita no que faz e na contribuição clara do designer para um mundo mais harmônico.

Aos mestres da Rede Permeiar de Permacultura: Jorge Timmermann, Suzana Maringoni, Tomás Lotufo e Angelo Rayol, por me apresentar a oportunidade de pensar e atuar de forma sistêmica.

Aos colegas do Departamento de Artes e Design da PUC-Rio, por compartilhar experiências tão ricas comigo, com outros colegas e com nossos alunos.

À minha família, pelo apoio incondicional à educação e ao conhecimento.

Aos parceiros deste trabalho de pesquisa aplicada: Estação de Permacultura de Yvy Porã, Sítio Abaetetuba e Bichinho do Mato, por acreditar e duvidar do trabalho do LILD sempre.

Aos membros da banca examinadora, que muito contribuíram para esta tese, em especial a Ricardo Oiticica (em Memória), pelos comentários preciosos feitos durante a banca examinadora.

Resumo

Campos, Daniel Malaguti; Ripper, José Luiz Mendes; **Aplicação e ensino de tecnologias apropriadas para a construção coletiva de estruturas de cobertura feitas de bambus amarrados e terra crua** . Rio de Janeiro, 2013. 145p. Tese de Doutorado – Departamento de Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O presente trabalho, desdobramento da pesquisa desenvolvida entre 2007 e 2009, relatada na dissertação de mestrado intitulada “Design de estruturas reticuladas de bambu geradas a partir de superfícies mínimas”, tem como objetivo principal a aplicação de alguns dos modelos de estruturas de cobertura desenvolvidos pelo LILD (Laboratório de Investigação em Livre Desenho), em escala e contexto real para uso comunitário. Isso ocorre através do ensino de técnicas simples e de baixo impacto ambiental, em processos de construção coletiva utilizando materiais e mão de obra locais. Por meio da elaboração de desenhos, modelos físicos reduzidos e da prática construtiva coletiva em si, obtém-se uma dinâmica de troca de saberes entre mestres e aprendizes, onde o conhecimento flui de maneira multidirecional, se retroalimenta. O aprendizado obtido fica evidente em dois momentos: no desenvolvimento das estruturas em laboratório, pois ampliam o repertório de unidades estruturais do LILD, e na construção das mesmas fora dos muros da universidade, pois trazem resultados reais tanto sobre os saberes trocados entre os envolvidos quanto à ação do meio físico e social sobre o experimento.

Palavras-chave

Estruturas de cobertura; construções coletivas; bambu; geometria esférica; superfícies mínimas; convivencialidade.

Abstract

Campos, Daniel Malaguti; Ripper, José Luiz Mendes (Advisor); **Application and teaching of appropriate technologies for the collective construction of roof structures made of tied bamboos and raw earth.** Rio de Janeiro, 2013. 145p. Doctorate in Design – Departamento de Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The present work, unfolding of the research developed between 2007 and 2009, reported in the master dissertation entitled "Design of bamboo frame structures generated from minimal surfaces", has as main objective the implementation of models of roof structures developed by LILD (Laboratory Research in Free Design) on a scale and real context for community use. It happens by teaching simple and low environmental impact techniques in processes of collective construction using local materials and labor. Through the development of drawings, reduced physical models and collective constructive practice itself, we can get a dynamic exchange of knowledge between teachers and learners in which knowledge flows multidirectional way, feeds itself. The knowledge gained is evident in two phases: in the development of structures in the laboratory, it expands the repertoire of structural units of the LILD, and building them outside the walls of the university, because they bring real results both on the knowledge exchanged between those involved as the action of the physical and social environment on them.

Keywords

Roof structures; collective constructions; bamboo; spherical geometry; minimal surfaces; conviviality.

Sumário

Introdução	10
1. Design, Educação e Meio Ambiente	14
1.1. Design colaborativo, social ou ecodesign?	14
1.2. Ecoalfabetização e Permacultura: inspirados na natureza	22
1.3. Reflexões sobre a atividade do designer - educador – ambientalista	29
2. Do mestrado ao doutorado – continuidade da pesquisa no LILD	31
2.1 Construção do domo da Estação de Permacultura de Yvy Porã	32
2.2 Estrutura de cobertura do Laboratório de Investigação em Livre Desenho	45
3. Desenvolvimento de modelos de estruturas de cobertura para aplicação da pesquisa em campo	59
3.1 Cobertura para a Estação Agroecológica Sítio Abaetetuba	60
3.2 Domo estrela como oca para o Bichinho do Mato	87
3.3 Geodésica do Bichinho do Mato	99
3.4 Domo curvo montado para a exposição em BH	110
3.5 Domo esférico como núcleo estrutural para abrigo no Chile	125
4. Considerações finais	140
Referências Bibliográficas	144

Sustentabilidade é um processo diário de conquista e manutenção.

Ripper

Introdução

Três grandes temas são abordados nesta tese: design, educação e meio ambiente. Em uma Pós-graduação em Design, é fundamental que o primeiro tema conduza a pesquisa, seguido do segundo, já que o autor é professor da graduação do mesmo curso. O terceiro tema, não menos importante, é de grande interesse do autor como designer, professor, pesquisador e ambientalista. Além disso, é um dos grandes focos do laboratório de pesquisa onde se realizou esta pesquisa, o LILD, Laboratório de Investigação em Livre Desenho¹, coordenado pelo orientador desta tese, o professor emérito José Luiz Mendes Ripper, vinculado ao Departamento de Artes e Design da PUC-Rio.

Objetivo geral

Aplicar alguns dos modelos de estruturas de cobertura desenvolvidos pelo LILD, em escala e contexto real, para uso comunitário, através do ensino de técnicas simples e de baixo impacto ambiental, em processos de construção coletiva que utilizam materiais e mão de obra locais.

Objetivos específicos

Desenvolver e testar novos modelos e protótipos de estruturas de cobertura que ampliem o repertório de unidades estruturais do LILD, contribuindo assim para o estado da arte.

¹ O LILD – Laboratório de Investigação em Livre Desenho – é um espaço de pesquisa do Departamento de Artes e Design da PUC-Rio que há mais de 20 anos desenvolve projetos de forte impacto socioambiental na linha de pesquisa Objeto, Meio ambiente e Sociedade. No LILD professores designers, engenheiros, arquitetos e alunos estagiários têm trabalhado para o desenvolvimento de objetos úteis de bambu e outros materiais naturais ou amplamente disponíveis. Trata-se de um grande espaço laboratorial totalmente projetado para o trabalho em grupo e sem divisórias, que seriam fatores de isolamento entre professores e alunos, e apresenta espaço interno aberto para o exterior, adaptando a construção ao clima tropical do Rio de Janeiro.

Auxiliar no resgate da interação originalmente existente entre as atividades de ensino, pesquisa e produção, criando condições de maior colaboração entre as partes envolvidas, através da troca de saberes convencionais.

Retroalimentar a pesquisa a partir do aprendizado obtido durante todo o processo de desenvolvimento e construção coletiva dos modelos de laboratório e experimentos de campo.

Percurso metodológico

As metodologias em prática no LILD procuram unir no mesmo espaço e ao mesmo tempo, ensino, pesquisa e produção, e estas atividades ocorrem juntas de maneira muito proveitosa, com a finalidade de obter maior colaboração entre os envolvidos, onde todos são professores, alunos, experimentadores e operários. (Ripper & Moreira, 2004, p.08)

Neste laboratório a representação das ideias acontece inicialmente por meio de desenhos e, posteriormente, os objetos são concretizados através de modelos físicos em escala reduzida, para que sejam facilmente trabalhados. Assim, o desenvolvimento do objeto é feito de pequenas antecipações, e da alternância entre as ideias e as concretizações. A materialidade corrige o mental e vice-versa. (Ripper & Moreira, 2004, p.06)

“Um dos objetivos de nossos estudos sobre as possibilidades do bambu como material de construção é sua aplicação, por meio de tecnologias apropriadas, em regiões de poucos recursos em nosso território. Para isso viemos desenvolvendo sistematicamente essas tecnologias, levando seus resultados para Universidades, Órgãos públicos em geral, interessados na disseminação das mesmas.” (Ripper & Moreira, 2004, p.08)

Para expor esta metodologia, que ocorre em diversas etapas de representação, concretização de modelos e aplicação em campo da pesquisa a partir da construção coletiva de experimentos em escala real, permeados de análises e conclusões, nem sempre nesta ordem, se faz o uso constante de

imagens, pois estas facilitam o entendimento de conceitos, processos e técnicas de maneira rápida. Ao aliar texto e imagem, a intenção do autor é aproximar o leitor da realidade dos fatos, tornando o pensamento imagético tão importante quanto o conceitual.

Para melhor organizar e apresentar esta pesquisa, a Tese foi dividida nas seguintes partes:

Capítulo 1. Revisão de literatura - O primeiro capítulo tem como ênfase o design, a educação e o meio ambiente. Na primeira parte serão apresentados diferentes pontos de vista sobre o papel do designer na sociedade ao longo dos anos, abordando autores como Victor Papanek com o design colaborativo, Ezio Manzini e seu entendimento das comunidades criativas e também John Thackara, com seus quadros de referência para orientar o design num mundo complexo. Na segunda parte é apresentado o conceito de Ecoalfabetização proposto por Fritjof Capra, estabelecendo conexões com os conceitos e métodos da Permacultura, de Bill Mollison e David Holmgren, já que ambos buscam inspiração nos princípios organizadores das relações vivas, encontrados na natureza, para desenvolver ações locais e globais de caráter socioambiental, com o objetivo de promover um novo paradigma de ocupação e exploração dos recursos naturais. Na última parte, fechando o capítulo, uma síntese dos aspectos mais importantes sobre o papel deste profissional interdisciplinar (designer, educador e ambientalista), embasado pela dissertação de mestrado de Mario Seixas (Seixas, 2009, p.26) na qual o mesmo descreve o desenvolvimento do design social associado a uma temática nativa no curso de Design da PUC-Rio.

Capítulo 2. Do mestrado ao doutorado - No segundo capítulo é apresentada a continuidade da pesquisa desenvolvida no LILD desde a dissertação de mestrado do autor. A partir de dois estudos de caso sobre o desenvolvimento de estruturas de cobertura, são apresentados os desdobramentos projetuais e construtivos destes dois objetos: a cobertura do LILD e o domo de base quadrada da Estação de Permacultura de Yvy Porã.

Capítulo 3. Do laboratório ao campo - No terceiro capítulo são relatados os experimentos gerados em laboratório para o desenvolvimento de modelos de estrutura de cobertura, que podem ser construídos coletivamente para fins de pesquisa e, posteriormente, utilizados como estruturas arquitetônicas depois de construídos coletivamente em algum contexto específico. Tais objetos cumprem um dos objetivos do laboratório que são as transferências tecnológicas, expressão que não define propriamente as experiências vividas e poderiam ser chamadas de trocas de saberes a partir da convivência, pois geram muito mais do que tecnologia e acontecem quase sempre nos dois sentidos, aliando ensino, pesquisa e produção.

Reflexões e conclusões finais - No último capítulo são apresentadas reflexões e conclusões finais sobre os experimentos realizados e sobre os sete anos de pesquisa no LILD, apontando diretrizes para cada etapa deste trabalho de parceria entre universidade e comunidade, para que este ocorra de maneira organizada e séria, a fim de que seja proveitoso para ambas as partes.

1

Design, Educação e Meio Ambiente

1.1

Design colaborativo, social ou ecodesign?

1971 – A visão ingênua e paternalista de Papanek, segundo ele mesmo

“Existem profissões mais danosas que o design industrial, mas apenas poucas. E possivelmente somente uma profissão é mais picareta. O design de publicidade, ao persuadir pessoas a comprar coisas que elas não precisam, com dinheiro que elas não têm, para impressionar outros que não se importam, é provavelmente o campo mais charlatão em existência hoje.”
(Papanek, 1984, p.ix)

Com este tom pessimista, Victor Papanek inicia o prefácio da primeira edição de seu livro *Design for the real world – human ecology and social change*, escrito entre 1963 e 1971. Ele continua seu discurso dizendo que o design industrial, ao inventar as idiotices de mau gosto dos propagandistas, vem logo em segundo lugar na lista das profissões mais enganadoras que existem.

Ele afirma que os designers se tornaram uma classe perigosa, pois o design industrial colocou o assassinato em uma base de produção em massa por diversos motivos, como projetar automóveis inseguros que matam e mutilam cerca de um milhão de pessoas por ano (dados não atualizados para os dias de hoje), por criar novas espécies de lixo permanente que atravancam a paisagem e por escolher materiais e processos que poluem o ar que respiramos. E se posiciona quanto às escolas de design, afirmando que as habilidades necessárias para essas atividades são cuidadosamente ensinadas aos jovens dentro de tais instituições.

Papanek justifica suas críticas dizendo que em um mundo onde tudo deve ser planejado e projetado, o design tornou-se a mais poderosa ferramenta com a qual o homem molda suas próprias ferramentas e o meio ambiente, e consequentemente a sociedade e a si mesmo, exigindo do profissional de design alta responsabilidade moral e social. Além disso, exige do designer maior compreensão do povo, do público para quem se está projetando, e sugere maior participação no processo de design por parte do público.

As verdadeiras necessidades da humanidade também podem ser respondidas pelo design, que segundo ele deve se tornar uma ferramenta transdisciplinar inovadora e altamente criativa, que deveria ser orientada pela pesquisa para que possamos parar de contaminar a terra com objetos e estruturas mal projetados.

A partir de sua experiência dos últimos dez anos trabalhando em diversas partes do mundo com profissionais e estudantes de design, seja em grandes cidades ou em pequenas vilas de países ricos e pobres, Papanek tenta mostrar de forma clara o que significa projetar de dentro de um contexto social. Ele também critica a literatura existente sobre design com centenas de livros por ele chamados de “how-to-do-it”, que são direcionados exclusivamente para um público de profissionais e estudantes de design, deixando o contexto social dos projetos, bem como o público-alvo e possíveis leitores prejudicados por omissão de informação.

Ainda neste prefácio, o autor também critica todo o sistema de patentes e direitos autorais, pois para ele as ideias são abundantes e baratas, e é errado ganhar dinheiro com as necessidades dos outros. Para entender isso de forma mais clara ele exemplifica:

“Existe algo basicamente errado com todo o conceito de patentes e direitos autorais. Se eu projetar um brinquedo que proporciona exercícios terapêuticos para crianças deficientes, então eu acho que é injusto atrasar o lançamento do projeto por um ano e meio, passando por um pedido de patente.” (Papanek, 1984, p.xi)

Tudo que o autor sugere para os profissionais de design é uma participação mais ativa nas questões cruciais da humanidade ao invés de uma participação passiva, submetida aos fabricantes e propagandistas que na maioria das vezes só estão interessados nos lucros independentemente das consequências que um novo projeto pode trazer para o usuário ou para o meio ambiente. Papanek espera que o livro traga um novo pensamento para o processo de design e inicie um diálogo inteligente entre o designer e o consumidor.

Ele sugere também que a coisa melhor e mais simples que arquitetos, designers e planejadores podem fazer pelo meio ambiente seria parar de trabalhar integralmente para trabalhar positivamente, e sugere que o design pode e deve tornar-se um caminho em que os jovens possam participar das mudanças da sociedade. Segundo o autor, como designers social e moralmente envolvidos, devemos dirigir-nos às necessidades de um mundo que está de costas para um muro de fuzilamento, enquanto o tempo é curto até o apertar do gatilho.

1984 – O que mudou em pouco mais de dez anos?

No seu prefácio à segunda edição do livro, Papanek faz uma revisão de algumas ideias que considera ingênuas e outras que considera paternalistas e também analisa como a publicação foi recebida por profissionais, estudantes e revistas especializadas.

“Depois de mais de uma década parecia um bom momento para adicionar um novo material que reflete um mundo dinamicamente modificado e a reação de uma profissão que ainda é lenta para responder às mudanças, a rever material antigo, e para explicar os papéis éticos e sociais do design mais plenamente.” (Papanek, 1984, p.xii)

Segundo ele, as ideias deste livro foram desprezadas, ridicularizadas ou barbaramente atacadas pelas instituições de design em sua primeira edição americana. Algumas de suas sugestões como pesquisa de fontes alternativas de energia, o retorno às embarcações à vela, aeronaves mais leves que o ar e grandes economias de energia foram classificadas como sonhos particulares impossíveis. Um de seus projetos, o rádio de lata, foi especialmente ridicularizado e o fez ganhar o título de “o designer de lata de lixo”.

O autor contextualiza a aparição de sua publicação nas livrarias europeias ao lado de dois outros livros que tinham pontos em comum. Em *Future Shock* de Alvin Toffler, o autor descreve um futuro sempre em modificações (Toffler apud Papanek, 1984, p.xvi). Mas sobre a possibilidade de reverter a crescente mecanização da humanidade, Fritz Schumacher em seu livro *Small Is Beautiful*, viu isso de forma mais clara e concordou com a própria formulação de Papanek de que nada grande funciona. (Schumacher apud Papanek, 1984, p.xvi)

O interessante é que apesar de ter sido muito mal aceito pelos próprios designers, foi bem aceito pelos consumidores e tornou-se um texto exigido em escolas de design e de arquitetura e hoje é usado na antropologia, em ciências comportamentais, língua inglesa e em cursos de gestão industrial em muitas universidades.

Outro ponto importante é que algumas das previsões feitas por Papanek em 1970 e ridicularizadas pelas instituições de design começaram a se tornar realidade em 1984, dentre elas embalagens mais simples e o entendimento da ecologia. O autor ressalta o aprendizado na forma de refletir sobre os objetos projetados, como pensar os carros como grandes beberrões de gasolina que são, ou casas imensas com paredes de vidro e altos custos energéticos para aquecimento e resfriamento por ar condicionado, ou quartos de hóspedes que se mantém inúteis a maior parte do tempo. Tais absurdos não deveriam ser mais viáveis.

Uma reflexão crítica e interessante que o autor faz sobre a sua primeira edição do livro é que muitas das ideias que ele escreveu sobre o design para o Terceiro Mundo agora parecem um pouco ingênuas. Apesar disso ele decidiu deixar algumas destas observações na segunda edição porque mostram um ponto de vista um tanto paternalista que muitas pessoas de países ricos têm ou tinham sobre os países pobres mais de uma década atrás.

Para explicar melhor esta visão paternalista, Papanek utiliza exemplos de experiências vividas por jovens designers escandinavos que projetaram e construíram habitações em massa na Nigéria, mas que estão sem uso e são inúteis para aquelas pessoas pois foram projetadas sem o entendimento do contexto, sem a participação das pessoas do local. Por outro lado, estes mesmos jovens aprenderam importantes lições sobre como os padrões de habitação podem servir a famílias em expansão, desenvolver laços de vizinhança, ou fortalecer laços sociais em comunidades fortes e duradouras.

Ainda sobre esta visão paternalista e ingênuas ele faz alguns comentários ao longo deste prefácio que aqui são pertinentes:

“É reconfortante entender que os designers do Terceiro Mundo podem resolver seus próprios problemas sem interferências de especialistas importados por duas semanas.” (Papanek, 1984, p.xviii)

“Agora sabemos que jogar dinheiro, comida ou suprimentos em países subdesenvolvidos não funciona.” (Papanek, 1984, p.xix)

“Intervenções financeiras estrangeiras em massa jamais poderiam eliminar a pobreza na Índia, em contrapartida a falta de tais auxílios ajudou a China.” (Papanek, 1984, p.xix)

Papanek fala também sobre razões éticas e morais válidas para ajudar os países pobres, afirmando que no mundo atual, onde as distâncias estão encolhendo pelas viagens aéreas rápidas e pela comunicação global instantânea, não podemos aceitar ter três quartos dos seus habitantes doentes, morrendo de fome ou de negligência. Essa ética da situação é bem clara porque somos todos cidadãos de uma aldeia global e temos uma obrigação para aqueles que precisam.

Um aspecto curioso é que os ditos países pobres que mais pedem ajuda possuem, em geral, muitas riquezas materiais, que são seus recursos naturais, e principalmente no Hemisfério Sul, fontes abundantes de energia alternativa, como solar, eólica, geotérmica e a partir da conversão de biomassa. O que é necessário é que exista cooperação e que funcione mutuamente, um forte movimento para restringir a dependência financeira dos países pobres e ao mesmo tempo abertura para aprender com eles sobre os padrões de vida, tecnologia em pequena escala, reutilização de materiais e uma maior convivência entre homem e natureza, incluído medicina não-ocidental.

Os países em desenvolvimento e todo o resto de nós devemos colaborar através da combinação de abordagens mais simples e de pequena escala com as novas tecnologias, que pela primeira vez tornaram o desenvolvimento descentralizado e em escala humana viável. Os pobres no mundo em desenvolvimento, junto com os pobres e os deficientes nos países ricos e com todos aqueles de nós que devemos fazer escolhas mais sábias sobre as ferramentas, sistemas e artefatos que fazemos e usamos, formamos um eleitorado global. (Papanek, 1984, p.xxi)

O autor termina seu prefácio agradecendo às pessoas com as quais trabalhou nos últimos anos em diversos países e que o mostraram, através da convivência e da experiência de cooperação, que a pobreza é a mãe da inovação.

De 1971 a 2013 – O que mudou?

É possível acreditar que se Victor Papanek fosse escrever nos dias de hoje um prefácio a uma suposta terceira edição de seu livro ele poderia até mudar sua frase em que afirma que a pobreza é mãe da inovação, mudando pobreza para necessidade. A inovação acontece onde existe a necessidade e não a pobreza. É claro que com a pobreza surge a necessidade e daí a inovação quase que brota das pessoas. O próprio autor sugere um design mais ético, para necessidades reais das pessoas que precisam ao invés de necessidades fabricadas.

O livro continua atual, o tema socioambiental está em alta, muitas das sugestões de Papanek, chamado de sonhador quarenta anos atrás, hoje são realidade, como a redução no consumo energético e a busca por energias alternativas. Infelizmente, o que Papanek combatia, o design de publicidade, hoje em dia tenta nos vender produtos supostamente mais ecológicos, ou nos termos de hoje, mais sustentáveis e muitas vezes suas intenções são apenas maquiagem os produtos para que se pareçam “verdes”, através da prática do *greenwashing*.

Muitas das ideias tratadas no livro podem ser encontradas em livros atuais de Ecodesign como *The Eco-Design Handbook*, de Alastair Fuad-Luke de 2002 (Fuad-Luke, 2002); *Design para a inovação social e sustentabilidade – Comunidades criativas, organizações colaborativas e redes projetuais*, de Ezio Manzini de 2008 (Manzini, 2008, p.36) e *Plano B*, de John Thackara de 2008 (Thackara, 2008).

O primeiro autor, Fuad-Luke, compartilha com Papanek a visão de que poucas profissões são mais danosas que o design, e vai além, afirmando que os designers tem mais potencial para diminuir a degradação ambiental do que qualquer outro profissional sejam eles economistas, políticos, empresários e até

mesmo ambientalistas. Ele afirma, de forma até exagerada, que somente os designers podem salvar a Terra. (Fuad-Luke, 2002, p.15)

Esta ideia de que podemos viver bem consumindo menos recursos e criando uma noção de comunidade é completamente oposta ao modelo que a sociedade industrial gerou, pois num nível global, conforto e bem estar estão geralmente ligados ao aumento do consumo. Isto mostra que não é possível caminhar em direção à sustentabilidade utilizando os métodos e ideias concebidos pela lógica industrial e capitalista.

“Todas as pessoas deveriam aprender a consumir menos recursos naturais e criar novas formas de comunidade, do nível local ao global, porque somente neste caminho seremos capazes de fazer a transição para a sustentabilidade” (Manzini, 2008, p.36).

Grandes mudanças sistêmicas, as macro transformações, são geradas por micro transformações que emergem da inovação radical dos sistemas locais, e é observando estas pequenas mudanças que podemos visualizar alguns dos aspectos deste novo sistema que já está surgindo para o futuro.

O pesquisador italiano Ezio Manzini estuda pequenas iniciativas locais, que chama de comunidades criativas, e estão ligadas à moradia, alimentação saudável, cuidados a crianças e idosos, novas formas de socialização e troca de favores como os sistemas de troca locais e os bancos de horas, transporte alternativo e comércio justo e direto entre produtores e consumidores. Essa inovação provocada pela necessidade de mudança e ligada diretamente à cooperação numa via de duas mãos é o que Papanek propunha. Estes casos variados de inovação social têm pontos fundamentais em comum que devem ser destacados: eles vão contra os modos de fazer que estamos acostumados e nos apresentam modos diferentes e intrinsicamente mais sustentáveis. Podemos citar, como exemplo, a qualidade de alimentos orgânicos e saudáveis que estão sendo redescobertos em contraste com o padrão de consumo dos alimentos produzidos em massa com a utilização de agrotóxicos.

Existe outro ponto em comum que é muito importante ser abordado. Todas estas iniciativas foram criadas, planejadas e executadas por pessoas que não esperaram grandes mudanças no sistema (na economia, nas instituições ou na infraestrutura). Estas minorias ativas utilizaram o que havia disponível localmente para criar algo novo e, por este motivo, foram denominadas comunidades criativas.

Tais comunidades estão profundamente enraizadas em um local. Elas se baseiam nos recursos locais para promover, direta ou indiretamente, novas formas de socialização e, ao mesmo tempo, estão conectadas a redes de iniciativas similares em escala global, o que possibilita comparar experiências e compartilhar os problemas. Elas são ao mesmo tempo entidades locais e cosmopolitas, mas o mais interessante é que elas propõem soluções que combinam os interesses das pessoas com interesses socioambientais e tem potencial para serem verdadeiras soluções sustentáveis.

Estas comunidades nos mostram que já é possível caminhar em direção à sustentabilidade através de exemplos concretos do que poderia ser “normal” numa sociedade sustentável, alimentando discussões sociais e compartilhando experiências sobre o tema. Ao mesmo tempo, apontam novas possibilidades de mercado no desenvolvimento de soluções sustentáveis.

Também é interessante lembrar que tais iniciativas podem ser encontradas em todas as áreas, desde cidades históricas a grandes centros urbanos, das favelas aos condomínios de luxo, mesmo com características muito diferentes. É o caso do movimento *Transition Towns*², que no Brasil ganhou o nome de Cidades em Transição, e no Rio de Janeiro está em diversos bairros com características distintas como Vargem Grande, Grajaú, Humaitá e Santa Teresa. Certamente, as comunidades criativas são iniciativas de uma minoria, mas elas estão se espalhando e assumindo o papel de um grande espaço cosmopolita construído: um dinâmico e variado conjunto de indivíduos e comunidades com a intenção de construir hipóteses concretas de possibilidades futuras.

Em seu livro Plano B, John Thackara propõe seis quadros de referência (Thackara, 2008, p.261) para orientar o design neste mundo complexo. Algumas delas tem relação direta com as ideias de Papanek e Manzini.

Do projeto e planejamento ao sentir e reagir – Segundo Thackara significa ser reativo aos eventos em um contexto e ser capaz de reagir rápida e apropriadamente quando surgir a necessidade.

Do alto conceito ao profundo contexto – pequenas mudanças em sistemas interconectados podem melhorar as coisas mas também podem piorá-las. É por isso que a aplicação de um design de “alto conceito” a contextos que não entendemos bem é irresponsável e normalmente destrutiva em termos de valor.

² O movimento das Cidades em Transição (Transition Towns) foi criado pelo inglês Rob Hopkins com o objetivo de transformar as cidades em modelos sustentáveis, menos dependentes do petróleo, mais integradas à natureza e mais resistentes a crises externas, tanto econômicas como ecológicas. Disponível em Cidades em Transição - <http://transitionbrasil.ning.com/> e em Transition Towns - <http://www.transitionnetwork.org/>

Do design para as pessoas ao design com as pessoas – a colaboração aberta em rede tem sido celebrada como uma nova mania na internet, mas funciona melhor no mundo real e cara a cara. Esses fenômenos são sintomas de uma ampla mudança cultural na qual grupos de indivíduos estão se unindo para colaborar em projetos de grande escala.

Estas ideias que estão ganhando espaço e se espalhando hoje só são possíveis porque pessoas como Papanek questionaram o modo do designer agir e trabalhar e isso abre possibilidades de trabalho para o profissional da área fora do contexto industrial e num espaço que tende a crescer devido às necessidades de mudança de um mundo em transição. Exemplos não faltam.

A criatividade humana já desenvolveu a base conceitual e as ferramentas necessárias para fazer a transição para uma civilização caracterizada pela sustentabilidade e integração ecológica. Seja nas comunidades criativas descritas por Manzini, nas comunidades de permacultores ou nas ecovilas mundo afora, as últimas décadas foram marcadas por uma efervescência intelectual intensa, onde vimos o surgimento e fortalecimento de redes criativas e seus esforços de transformação cultural, assistindo ao nascimento de diversas linhas de pensamento que convergem entre si na busca por novos padrões de sinergia e cooperação, que podem ser potencializadas pelo trabalho do designer.

1.2

Ecoalfabetização e Permacultura: inspirados na natureza

Em meados de 1970, na Austrália, os ecologistas David Holmgren e Bill Mollison conceberam um inovador sistema de planejamento e criação de habitats humanos sustentáveis inspirados na natureza, de forma a proporcionar um padrão de ocupação humana que trouxesse harmonia e senso de colaboração na relação humano-meio ambiente. O nome *permacultura* originou-se das palavras agricultura e permanente e, com o tempo, o conceito e a definição do termo evoluíram para uma “cultura permanente e sustentável”. Uma definição mais atual seria:

“Paisagens conscientemente desenhadas que reproduzem padrões e relações encontradas na natureza e que, ao mesmo tempo, produzem alimentos, fibras e energia em abundância e suficientes para prover as necessidades locais” (Holmgren, 2007, p.3).

Se, inicialmente, a permacultura estava focada nos processos de suficiência alimentar, hoje ela se torna cada vez mais ampla, abrangendo processos relacionados a arquitetura, eficiência energética, economia associativa, cultura, educação e tecnologias, constituindo-se em um sistema socioambiental de grande alcance.

Holmgren se baseia no pensamento sistêmico e nos princípios da ética e do design para montar a estrutura conceitual para a implementação do conceito de permacultura. Mollison deixa clara sua essência filosófica quando sustenta que qualquer trabalho deve ser realizado com (e não contra) a natureza. E vai além:

“Acredito que a harmonia com a natureza é possível somente se abandonarmos a ideia de superioridade sobre o mundo natural. Levi Strauss disse que o nosso erro mais profundo é o de sempre julgarmo-nos mestres da criação, no sentido de estarmos acima dela. Não somos superiores a outras formas de vida; todas as criaturas vivas são uma expressão de vida. Se pudéssemos ver essa verdade poderíamos entender que tudo que fazemos a outras formas de vida, fazemos a nós mesmos. Aquela cultura que compreende isso, jamais, salvo necessidade absoluta, destruirá qualquer ser vivo” (Mollison, 1991, p.13).

A permacultura hoje também é uma rede de pessoas e grupos difundindo suas soluções em países desenvolvidos e em desenvolvimento de todos os continentes. Os permacultores vêm contribuindo para um futuro mais sustentável através da reorganização das suas vidas e do seu trabalho, criando pequenas mudanças locais que influenciam, direta e indiretamente, ações nos campos da sustentabilidade.

Os princípios da permacultura são breves afirmações ou slogans que podem ser lembrados facilmente como um “check-list”. Apesar de parecerem universais, os métodos que os expressam podem variar enormemente de acordo com o contexto. Estes princípios são divididos em princípios éticos e princípios de design.

Princípios éticos da permacultura

- Cuidado com a Terra (solos, florestas, água, ar).
- Cuidado com as pessoas (cuidar de si mesmo, parentes, amigos, comunidade).
- Partilha justa (estabelecer limites para o consumo e reprodução, redistribuir os excedentes).

Abaixo estão listados os 12 princípios de design de permacultura de David Holmgren (Holmgren, 2007, p.11):

“O formato de cada princípio de design é uma afirmação de uma ação positiva com um ícone associado, que funciona como um lembrete gráfico que codifica alguns aspectos fundamentais ou exemplos do princípio. Associado a cada princípio está um provérbio tradicional que enfatiza o aspecto negativo ou de precaução do princípio.

Cada princípio pode ser visto como uma porta de entrada ao labirinto do pensamento sistêmico. “Qualquer exemplo utilizado para ilustrar um princípio também incorporará outros, de modo que os princípios são apenas simples ferramentas para o pensamento para nos ajudar na identificação, design e evolução de soluções de design.” (Holmgren, 2007, p.12)

Os 12 Princípios de design de permacultura de David Holmgren

1. Observe e interaja – “A beleza está nos olhos do observador”.
2. Capte e armazene energia – “Produza feno enquanto faz sol”.
3. Obtenha rendimento – “Você não pode trabalhar de estômago vazio”.
4. Pratique a autorregulação e aceite feedback – “Os pecados dos pais recaem sobre os filhos até a sétima geração”.
5. Use e valorize os serviços e recursos renováveis – “Deixe a natureza seguir seu curso”.
6. Não produza desperdícios – “Não desperdice para que não lhe falte” e “Um ponto na hora certa economiza nove”.
7. Design partindo de padrões para chegar aos detalhes – “Às vezes as árvores nos impedem de ver a floresta”.
8. Integrar ao invés de segregar – “Muitos braços tornam o fardo mais leve”.
9. Use soluções pequenas e lentas – “Quanto maior, pior a queda” e “Devagar e sempre ganha a corrida”.
10. Use e valorize a diversidade – “Não coloque todos seus ovos numa única cesta”.
11. Use as bordas e valorize os elementos marginais – “Não pense que está no caminho certo somente porque ele é o mais batido”.
12. Use criativamente e responda às mudanças – “A verdadeira visão não é enxergar as coisas como elas são hoje, mas como serão no futuro”.

Aproximadamente na mesma época, o cientista James Lovelock publicou sua hipótese ou Teoria de Gaia, por meio da qual demonstra cientificamente que a Terra é um sistema auto organizador, um ser planetário vivo capaz de regular seu clima e sua composição química e, assim, estimular a evolução e alimentar a continuidade das suas formas de vida e subsistemas (Lovelock & Margulis, 1974).

Para Lovelock, a civilização humana e sua perspectiva cultural insaciável agem como uma moléstia, um tecido patológico no planeta, que em pouco tempo provocará uma febre mórbida que pode durar cem mil anos. Ele sugere que não teremos tempo de interromper a devastação de ecossistemas fundamentais para a

manutenção do equilíbrio do sistema planetário (Lovelock & Margulis, 1974). Porém, como afirma o narrador do filme *Home*³, “é tarde demais para sermos pessimistas”. Existem hoje em todo o mundo diversas iniciativas locais, muitas vezes conectadas com redes globais desenvolvendo e utilizando soluções viáveis para quase todos estes problemas. Não há tempo para lamentos mas sim para atitudes.

A eco-alfabetização, por sua vez, é uma metodologia pedagógica holística inspirada nos princípios organizadores das relações vivas no ambiente terrestre, desenvolvida nos últimos vinte anos pelo físico Fritjof Capra e seus colaboradores. Segundo eles, o fenômeno da vida na Terra tem pelo menos três bilhões de anos de existência ininterrupta, caracterizada pela crescente complexidade e pelas condições favoráveis para o desdobramento evolutivo. Já se olharmos para o comportamento da sociedade, podemos constatar que estes princípios que promovem a sustentabilidade no âmbito dos ecossistemas não são observados pela humanidade. É provável que a não observância desses princípios seja uma das causas essenciais de estarmos destruindo o ambiente do qual dependemos. “A sobrevivência da humanidade dependerá de nossa alfabetização ecológica, da nossa capacidade de entender esses princípios da ecologia e viver em conformidade com eles” (Capra, 2006, p.57)

Baseada no contato emocional com a Terra e no desenvolvimento de projetos, a eco-alfabetização busca difundir o pensamento ecológico nas escolas, empresas, instituições públicas e privadas, em qualquer coletividade humana. Abaixo listo alguns dos princípios com uma pequena definição de suas características em comunidades ecológicas e possíveis lições para comunidades humanas.

Princípios organizadores inspirando a eco-alfabetização

Redes

Uma vez que os membros de uma comunidade ecológica extraem as suas propriedades essenciais, sua própria existência, das suas relações, a

³ Home, nosso planeta, nossa casa. Filme de Yann Arthus-Bertrand, de 2009.

sustentabilidade não é uma propriedade individual, mas uma propriedade da própria rede.

Da natureza entende-se que as relações existentes entre os membros de uma rede são o que os tornam vivos, pois os elementos de um sistema estão conectados numa vasta rede de relacionamentos em que todos os processos são interdependentes.

No que se relaciona à educação, é possível trazer esta sabedoria da natureza para o cotidiano, pois para solucionar um problema real de forma duradoura, precisamos reunir as pessoas que lidam com as diferentes partes deste problema em redes de suporte e diálogo. Cada parte da rede dá sua própria contribuição. Assim, os efeitos de cada uma são ampliados pelo trabalho das outras e a rede tem a força para manter-se viva mesmo quando algum dos membros individuais a deixa ou passa para outra.

Interdependência

A sustentabilidade das diferentes populações e a sustentabilidade de todo o ecossistema são interdependentes. Nenhum organismo individual pode existir isoladamente, pois as trocas de energia e recursos em um ecossistema são mantidas pela cooperação de todos. A vida toma conta do planeta por meio de cooperação, parceria e participação em rede.

Na natureza a cooperação é recompensada, pois a aliança é uma característica essencial das comunidades sustentáveis. O sucesso de uma comunidade depende do sucesso de cada um dos seus membros e o sucesso de cada um de seus membros depende do sucesso da comunidade como um todo. A natureza forma uma teia que se sustenta através das relações essenciais entre as suas partes.

O campo educacional pode utilizar este princípio para mostrar para todos como existe dependência de diferentes pessoas no cotidiano e muitas vezes isto não é notado. Num mundo finito, onde todas as pessoas e todas as coisas pertencem a este espaço, é necessário cuidar não somente dos objetos, suas origens e destinos, mas também das pessoas responsáveis por eles.

Diversidade

O papel da diversidade está estreitamente ligado às estruturas de rede dos sistemas. Por conter muitas espécies com funções ecológicas sobrepostas que podem substituir umas às outras, o ecossistema diversificado é capaz de se recuperar rapidamente. Quanto mais complexos forem os padrões de interconexão da rede, mais rapidamente eles poderão se recuperar.

Na natureza as diferenças são valorizadas, uma vez que quanto maior a complexidade maior é a diversidade, pois os membros de um ecossistema são interligados numa ampla rede de relacionamentos, onde todos os processos de vida são interdependentes e alcançam a estabilidade através da diversidade de conexões.

Nas comunidades humanas e principalmente nas ações educativas, a diversidade étnica, de gênero, de origem, de capacidades, entre outras, pode exercer o mesmo papel que a biodiversidade exerce num ecossistema. É importante que as pessoas entendam que diversidade significa muitas diferentes relações e muitas diferentes abordagens ao mesmo problema.

Ciclos

Por meio da teia da vida, a matéria está sempre se reciclando. A natureza recicla tudo, considerando todo resíduo como recurso. A interdependência é muito mais real nos ecossistemas do que nos sistemas sociais, já que os membros de um ecossistema literalmente devoram uns aos outros. Um ecossistema não gera detritos, pois o detrito de uma espécie torna-se a comida de outra.

O princípio dos ciclos no campo educacional poderia ser observado, por exemplo, na gestão dos resíduos. Nas comunidades humanas o conflito entre economia e ecologia surge porque a natureza é cíclica, enquanto os processos industriais são lineares. Para um sistema industrial ser sustentável, todos os produtos e materiais manufaturados, como também os detritos gerados durante os processos de manufatura, têm que acabar provendo alimento para algo novo. Buscar essas interações que transformam a matéria, facilitá-las e torná-las semelhantes aos ciclos naturais pode ser um importante aprendizado prático para as pessoas interessadas em práticas inspiradas na natureza.

As interações entre membros de uma comunidade ecológica envolvem a troca de recursos em ciclos contínuos, de tal forma que todo resíduo seja reciclado através de cooperação universal e formas incontáveis de parceria.

Equilíbrio dinâmico

Todos os ciclos ecológicos funcionam como laços de realimentação, para que a comunidade ecológica possa estar sempre se autorregulando e se auto organizando, mantendo um estado de equilíbrio dinâmico caracterizado por flutuações contínuas.

Assim como a natureza, que inibe os excessos, transformando-se constantemente para conservar sua essência adaptativa e criativa, todo sistema de vida também se defronta ocasionalmente com pontos de instabilidade dos quais surgem espontaneamente novas estruturas, formas e padrões. Esse surgimento espontâneo da ordem é uma das características da vida e é quando vemos que a criatividade é inerente a todos os níveis de vida, principalmente nas tarefas educacionais.

“Não é exagero dizer que a sobrevivência da humanidade vai depender da nossa capacidade, nas próximas décadas, de entender corretamente esses princípios da ecologia e da vida. A natureza demonstra que os sistemas sustentáveis são possíveis. O melhor da ciência moderna está nos ensinando a reconhecer os processos pelos quais esses sistemas se mantêm. Cabe a nós aprender a aplicar esses princípios e criar sistemas de educação pelos quais as gerações futuras poderão aprender os princípios e aprender a planejar sociedades que os respeitem e aperfeiçoem” (Capra, 2006, p.57).

No que se refere à educação, o maior objetivo no entendimento destes princípios organizadores das relações vivas é que podemos através deles imitar o modo como a natureza funciona. Todos os princípios estão relacionados e, para explicá-los isoladamente, temos que ter cuidado para não parecermos redundantes. Deste modo, é impossível falar de redes sem falar de interdependência, ou de equilíbrio sem diversidade, ou qualquer outro princípio sem mencionar características de outro. Esta é a essência deste tipo de abordagem, que o pensamento sistêmico traz à tona, ou seja, mudar o pensamento das partes para o todo, uma vez que as propriedades de um sistema vivo não podem ser resumidas às propriedades de suas partes isoladamente.

1.3

Reflexões sobre a atividade do designer - educador - ambientalista

Em sua dissertação de mestrado, Mario Augusto Seixas (Seixas, 2009, p.26) relata surgimento da metodologia do Desenho Social associado a uma Temática Nativa no curso de graduação da PUC-Rio, iniciada pelo professor Ripper e pela professora Ana Branco em 1982. O modelo atual, até então, se mostrava insuficiente e inadequado para o ensino de projeto de design no Brasil, pois era importado de escolas alemãs e totalmente descontextualizado do meio social e físico brasileiro. Este questionamento sobre o modo como o designer deve agir e trabalhar também é abordado por Thackara (2008) e por Papanek (1984) ao mencionar a responsabilidade moral e social do designer e sugerir que os métodos de ensino da profissão sejam orientados pela pesquisa.

O LILD herdou a metodologia acima citada e acrescentou o método de modelos físicos (Ripper & Moreira, 2004, p.06), onde são observados diversos fenômenos em laboratório antes da implementação de protótipos no meio real. Um dos princípios da Permacultura (Holmgren, 2007, p.21) sugere o uso de soluções pequenas e lentas, utilizando dois ditados populares onde o pequeno ou o mais lento são mais importantes do que o grande ou o mais rápido, pois costumam funcionar melhor. O uso dos modelos físicos no LILD representa bem este princípio pois existe a chance de testar, acertar e errar em pequenas escalas, observadas e analisadas dentro de um ambiente destinado à experimentação. Tais ideias vão totalmente contra aquelas concebidas pela lógica industrial e capitalista e, segundo Fuad-Luke (2002), só assim é possível caminhar em direção à sustentabilidade. Segundo Manzini (2008), para que haja inovação social na construção de hipóteses concretas de possibilidades futuras é fundamental utilizar o que há disponível, não esperar grandes mudanças no sistema e testar diferentes modos de fazer o que estamos acostumados, sempre de maneira cooperativa.

O profundo entendimento do contexto através de uma observação participante e a aproximação do usuário como parte fundamental do processo projetual utilizados pelo Desenho Social também são abordados por Thackara (2008), quando este propõe em seus quadros de referência os itens 'sentir e reagir', 'do alto conceito ao profundo contexto' e 'fazer com as pessoas e não para

as pessoas'. Papanek (1984) também sugere a participação do povo/público-alvo no processo sugerindo um novo pensamento para o processo de design. Quase todos os autores abordados sugerem o trabalho em redes para que as informações e experiências sejam compartilhadas a partir da atuação local e mobilização global formando uma teia interdependente, diversa e solidária. Estes princípios são alguns dos utilizados por Capra na Ecoalfabetização, baseados no pensamento sistêmico a partir da observação da natureza. Ele afirma que a não observância destes princípios que organizam a vida no ambiente terrestre podem levar a destruição da humanidade.

Como síntese desta reflexão é possível apontar alguns direcionamentos para o trabalho deste profissional interdisciplinar (designer preocupado com a educação e meio ambiente) e que são apresentados a partir de diferentes abordagens pelos autores citados.

- Utilizar o pensamento sistêmico, tendo a natureza como fonte de inspiração.
- Questionar o modo de atuação do designer, atuando com responsabilidade ética.
- Entender profundamente o contexto para evitar conduta colonizadora ou paternalista.
- Trazer os usuários para o processo de design, ou seja, fazer com as pessoas.
- Projetar para a escala humana porque é mais viável e buscar soluções descentralizadas.
- Buscar atuar localmente mas se mantendo organizado através de redes de cooperação e compartilhamento de informações e experiências.

2

Do mestrado ao doutorado – continuidade da pesquisa no LILD

A dissertação de do(a) autor desta tese apresentou, em dois estudos de caso, o desenvolvimento de estruturas de cobertura que ainda não tinham sido construídas. Esta tese de doutorado pretende dar continuidade a esta pesquisa relatando neste capítulo os desdobramentos projetuais e construtivos destes dois objetos.

A metodologia utilizada dentro do Laboratório de Investigação em Livre Desenho da PUC-Rio incentiva a colaboração entre seus membros ao unir no mesmo espaço ensino, pesquisa e produção ao mesmo tempo.

No desenvolvimento de estruturas de cobertura inicia-se desenhando as ideias que estão na cabeça e a partir destes desenhos são feitas análises coletivas e a partir de suas conclusões as ideias vão mudando e os desenhos novamente são necessários para representá-las. Em alguns casos a construção de modelos físicos reduzidos começa junto com os desenhos, já em outros casos se espera o amadurecimento das ideias através de novos desenhos para depois iniciar a construção dos modelos.

O processo de construir modelos em escala reduzida é parte essencial da pesquisa, pois neste momento é possível experimentar formas, sistemas construtivos, simular etapas de montagem e antecipar possíveis análises e conclusões sobre o objeto em desenvolvimento. Ao construir modelos em diferentes escalas e materiais, o pesquisador traz para si a experiência da concretização do objeto mas não se prende a ele porque sabe que são somente antecipações da construção real que está por vir.

Com os aspectos técnicos definidos a partir das análises e conclusões sobre os modelos, é possível iniciar a etapa de aplicação da pesquisa através do ensino de técnicas simples e de baixo impacto ambiental, quando as estruturas de cobertura são construídas coletivamente em escala real, pelos pesquisadores e pelas próprias pessoas que irão utilizar aquele espaço. A partir daí a pesquisa começa a ter resultados reais sobre os saberes trocados e sobre a ação do meio físico e social sobre o experimento.

2.1

Construção do domo da Estação de Permacultura de Yvy Porã

Este capítulo busca relatar uma parceria entre o LILD - Laboratório de Investigação em Livre Design e a Estação de Permacultura de Yvy Porã, filiada à Rede Permeiar de Permacultores e localizada no município de São Pedro de Alcântara, em Santa Catarina. O desenvolvimento deste projeto está relatado na dissertação de mestrado do autor (Campos, 2009) e aqui será relatado de maneira resumida.

Após o convite para desenvolver um domo de base quadrada que serviria como estrutura de cobertura para a oficina de Yvy Porã, foi iniciada a etapa de desenvolvimento dos modelos físicos reduzidos em laboratório.

O primeiro passo para gerar um domo geodésico é escolher um poliedro regular de faces triangulares como o tetraedro, o octaedro ou o icosaedro. Como o objetivo deste projeto consistia em deformar uma meia esfera, transformando sua base circular em um quadrado, o octaedro foi escolhido como o poliedro gerador, pois sua metade é uma pirâmide de base quadrada.

A partir da subdivisão das arestas dos triângulos deste octaedro foram gerados modelos físicos de geodésicas em diferentes frequências. Quanto maior a frequência, maior a variedade de tamanhos de barras, maior o número total de barras e menor o tamanho das barras. E o principal, mais próxima da esfera será a forma do domo.

Foram construídos modelos físicos em escala reduzida (1/25), utilizando palitos de bambu unidos por cola de contato, nas frequências 1, 2, 3 e 4, e o que apresentou melhor relação forma/número de peças foi o de frequência 3 (octaedro 3v), pois possuía 48 peças de 3 tamanhos diferentes contra 96 peças de 6 tamanhos diferentes do modelo frequência 4. Os modelos nas frequências 1 e 2 foram desconsiderados pois eram menos esféricos e necessitariam de peças de bambu de maior dimensão. Utilizando o modelo do octaedro 3v como suporte foi construído outro modelo sobre este, deformando sua base de um círculo para um quadrado.

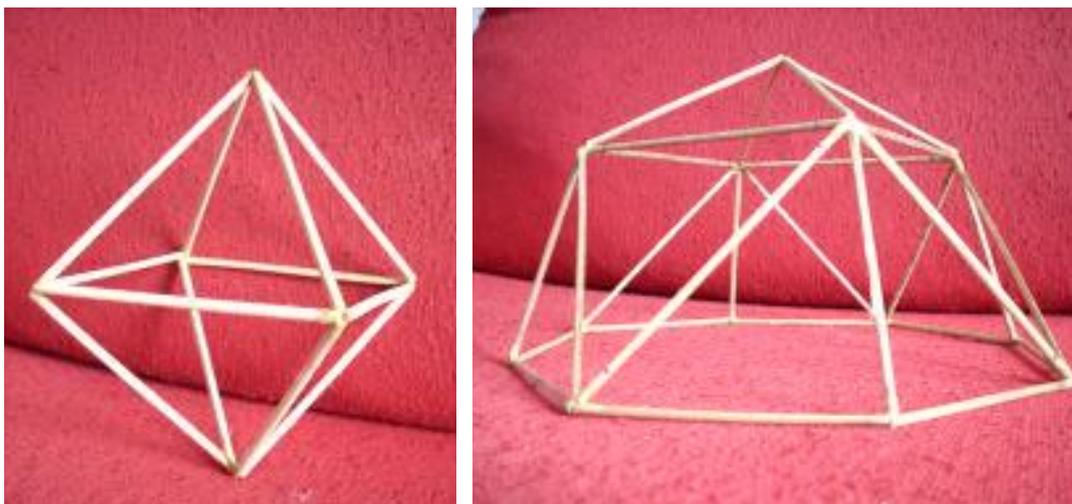


Figura 1 – Octaedro na frequência 1 & Figura 2 – Ocataedro na frequência 2

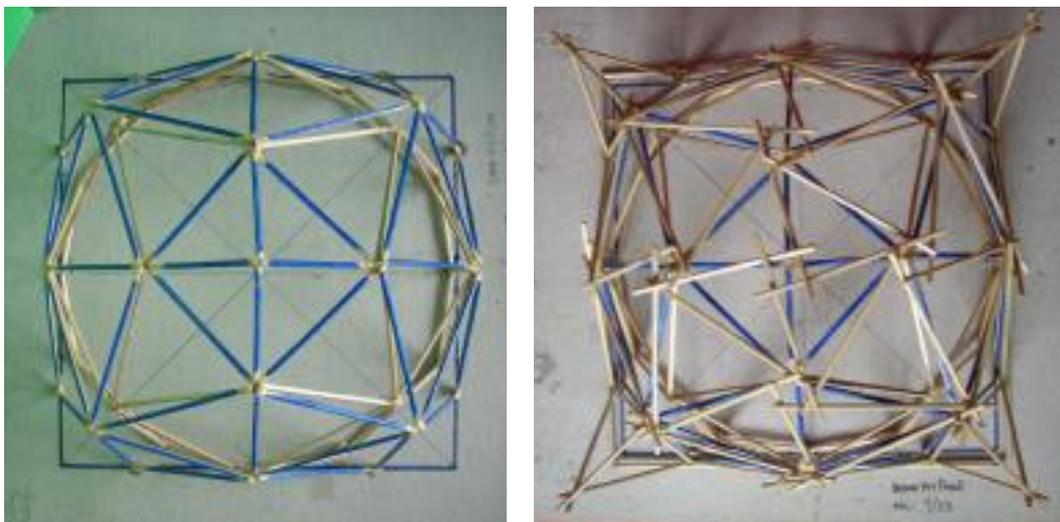


Figura 3 – Octaedro na frequência 3 & Figura 4 – Ocataedro na frequência 2

Como suporte foi utilizado este novo modelo, o octaedro 3v deformado para uma base quadrada, para gerar um novo modelo, que desta vez não foi construído com conexões pontuais como os outros, mas seguindo o método construtivo desenvolvido no LILD, onde a extremidade de cada barra se apoia na barra adjacente e assim por diante até fechar um polígono, que é chamado de "giro" devido à sua forma e orientação das barras, que devem obedecer a um sentido horário ou anti-horário.

Para proteger bem a base quadrada das intempéries, em cada uma das quatro quinas foram projetados beirais com estrutura em forma de tetraedros e que ao se juntarem por meio de ripas com as paredes do domo resultam em paraboloides hiperbólicos, formato já utilizado pelo LILD em outra construção

que utilizou uma geodésica como núcleo estrutural, a capela de Andreelândia. Além de proteção contra chuva e sol, estas aberturas laterais também favorecem a entrada de luz natural e a ventilação cruzada. Na entrada da construção, em um dos lados do quadrado também foi necessário adicionar um beiral com dois planos em formatos triangulares.



Figuras 5 e 6 – Modelo em giro montado sobre modelo com juntas pontuais

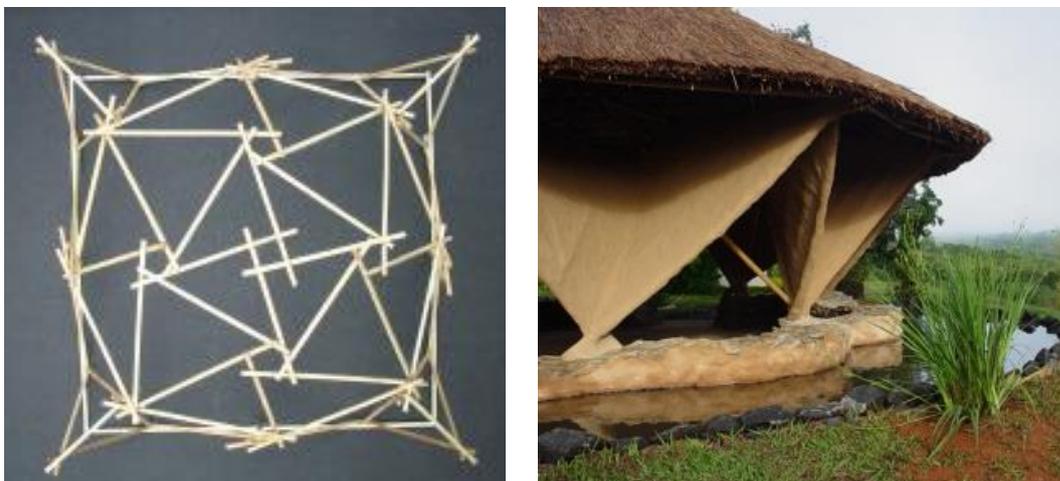
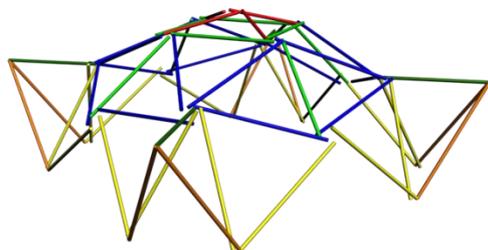


Figura 7 – Modelo em escala 1:25 do domo de base quadrada & Figura 8 – Capela de Andreelândia

Como forma de documentação e síntese, além da facilidade de transporte entre Rio de Janeiro e Florianópolis, uma série de modelos eletrônicos foram gerados a partir dos modelos físicos. Até então uma novidade nos métodos de concepção e análise dos objetos gerados no laboratório, esta tecnologia foi aplicada de forma experimental, como um pioneiro estudo no desenvolvimento da

dissertação de mestrado do pesquisador João Victor Correia de Melo (Correia de Melo, 2011).

Com o projeto pronto, iniciaram-se em Yvy Porã os trabalhos de construção dos alicerces e depois das paredes da oficina. Como já tinha sido realizada uma movimentação de terra para a construção de uma casa, esta terra que foi retirada de um local bem próximo foi levada para o local onde seria construída a oficina. A técnica escolhida para um alicerce robusto e barato foi a do superadobe, que consiste em encher sacos resistentes com terra e ir compactando-os, socando com pilões remetendo à ideia de construção de trincheiras. Cada saco foi cheio até uma proporção de dois terços de seu volume, dobrando a sobra de saco para baixo para que a terra não saísse quando fosse compactada. Assim, de saco em saco foram feitas as fiadas, sempre desencontradas como numa parede de tijolos para que a estrutura ficasse travada e entre cada fiada de sacos foram colocados dois fios de arame farpado para que os sacos não se deslocassem.



Figuras 9 e 10 – Modelo eletrônico da estrutura e alicerce construído de superadobe

Assim que as paredes de superadobe atingiram a altura desejada elas foram revestidas por uma tela de pinteiro presa por grampos e rebocadas em duas camadas com solo-cimento na proporção de 85% de solo para 15% de cimento, que tinha a finalidade de impermeabilizar os alicerces. A primeira camada foi chapiscada para aderir à parede e a segunda foi alisada para evitar que esta parede absorvesse água. Com este trabalho realizado, foram levantadas as paredes com tijolos maciços (20x10x5cm) travados até a altura de 1,20m, com algumas colunas de tijolos colocados dois a dois para que as paredes de 5 metros de comprimento ficassem mais estruturadas. Com estas muretas prontas e o piso de terra batida

nivelado, foi agendado o mutirão de construção da cobertura para o feriado de sete de setembro.

No mês de junho, durante o período de lua minguante, foram coletadas e beneficiadas em torno de cem varas de bambu, identificadas como da espécie *Bambusa tuldoides*, de aproximadamente quatro centímetros de diâmetro na sua base e 5 metros de comprimento. Foram escolhidos colmos maduros, através de seu aspecto exterior, pela sua coloração mais pálida e manchas de fungos, tomados os devidos cuidados para que não fossem escolhidos colmos jovens nem velhos. Os colmos maduros coletados foram deixados para secar a sombra por três meses até a época do mutirão.

No fim de semana do feriado de sete de setembro de 2009 uma equipe formada pelo autor desta tese e por João Victor Correia de Melo, pesquisadores do LILD, somados aos membros de Yvy Porã e parceiros permacultores de Florianópolis-SC e Botucatu-SP reuniram-se na Estação de Permacultura para quatro dias de mutirão de construção da cobertura da oficina, aplicando mais uma vez o método de trabalho convivencial e utilização de técnicas acessíveis. Ao todo foram envolvidas dezoito pessoas.

Antes do início dos trabalhos a equipe do LILD apresentou o projeto. Sendo uma novidade em relação aos demais trabalhos desenvolvidos no laboratório, este foi apresentado em formato digital, através de modelos eletrônicos, baseados nas maquetes e modelos físicos confeccionados no decorrer da projeção. Apesar das dúvidas decorrentes desta pioneira aplicação, as explicações sobre o projeto transcorreram de forma bastante tranquila, mostrando uma manipulação de dados um tanto intuitiva e de fácil visualização, muito próxima das provenientes de modelos físicos. Explicado o projeto, foi elaborada uma lista de peças da estrutura principal, contemplando os três tamanhos diferentes de barras, que foram cortadas da base dos colmos coletados, devido ao seu maior diâmetro e parede mais espessa. Para fazer as amarrações por torniquetes, método desenvolvido no LILD, escolhemos sobras de vergalhões cortados com 15 centímetros de comprimento e cordas de polipropileno, sobras da obra de colocação da fiação subterrânea de energia do local. Estas cordas são as guias que vem dentro dos tubos e foram utilizadas para puxar os fios de um lado a outro dos mesmos, sendo guardadas para reutilização em futuras aplicações, como no caso desta montagem.



Figuras 11– Parede de tijolos construída sobre os alicerces & Figura 12 - Equipe do LILD apresentando o projeto no local da obra utilizando um lap top

A construção foi iniciada no chão, pelo topo da geodésica, com a equipe do LILD fazendo a primeira figura, que é uma pirâmide de base quadrada, demonstrando o método construtivo dos domos com bambus amarrados em “giros” por torniquetes. A partir daí foram organizadas duplas de trabalho, unindo sempre uma pessoa mais experiente em construções ou em amarrações com uma menos, onde cada uma destas duplas era responsável por uma amarração. A primeira montagem foi concluída em apenas uma tarde, contudo, o domo não assentava nas paredes já construídas. Analisando este contratempo, observou-se que o problema estava na dimensão do “giro”, muito aberto, o que refletiu na forma final do objeto, deixando-o com a área maior que o esperado.

No segundo dia de construção coletiva iniciou-se o acerto e regulagem da estrutura. Para tal, foi utilizado um gabarito de bambu com as dimensões do muro já construído. Novamente cada dupla ficou responsável por uma amarração. Os giros então foram desmontados e “apertados”, ou seja, cada barra componente foi colocada mais próxima da outra, aproximando o máximo possível a uma geometria de junta pontual. Um fato interessante é que esta geometria principal foi montada ao lado do muro que a suportaria e transportada para o local pela equipe da construção coletiva, comprovando a leveza desta estrutura. Apoiada no local estipulado, o domo foi então amarrado por tirantes de arame à estrutura do muro.



Figuras 13 e 14 – Início da Montagem do domo e domo pousado sobre a parede

Iniciando o terceiro dia de mutirão, a equipe foi dividida em duas: a primeira responsável pela colocação das peças que formariam os beirais, paraboloides hiperbólicos; e a segunda abrindo os bambus em fitas, ou ripas, para que fossem trançadas sobre a estrutura, permitindo que esta recebesse, futuramente, a massa de fibrobarro. Fato relevante sobre o trabalho com as ripas de bambu foi quanto à rigidez formal adquirida ao término do trançado. Ficou claro que as tensões ficaram bem melhor distribuídas e com isso a estrutura parecia mais estável. Ao fim deste dia foi iniciado o barreamento da geodésica.

Esta fase do projeto, mais demorada, não foi concluída no mesmo fim de semana em que se iniciou este trabalho, porém, os meses subsequentes foram dedicados a tal passo, sendo concluído em novembro do mesmo ano, ou seja, dois meses após o início do mutirão. Para este barreamento foi utilizado o fibrobarro. Este material consiste em um composto natural de elevada fração volumétrica de fibras, que neste caso, foram utilizadas as de arroz e/ou milho, adquiridas em fardos, como refugo do CEASA de Florianópolis. Além das fibras longas supracitadas, foi também incorporada à massa serragem, que fora deixada de molho por 24 horas antes da utilização, como carga e, principalmente, isolante térmico.

A matriz foi composta de barro cru e cimento, este último devido à necessidade de rapidez na secagem, tendo em vista que se tratava de época de chuvas em Santa Catarina. Basicamente a constituição (em volume) deste composto é: 30% de barro, 30% de fibras, 30% de serragem e 10% de cimento e água. Nota-se que a água contribui muito para a fluidez da matriz, o que facilita a

impregnação das fibras. Esta massa mostrou características favoráveis quanto ao endurecimento e secagem rápidos, além de leveza e resistência.



Figura 15 – Domo já com beirais quase totalmente preenchido com as ripas



Figura 16 – Domo em processo de barreamento

O processo utilizado para barrear a cobertura foi bastante simples e se utilizou muito bem das características do material descrito anteriormente. Devido às fibras longas, foi possível fazer feixes e, deste modo, levá-los à estrutura, pendurando-os nos vãos das ripas de baixo para cima para posteriormente moldá-los em ambos os lados de modo que aderissem à estrutura e possibilitassem um pré-acabamento, no interior mais liso e no exterior áspero para finalmente aguardar revestimento com um reboco hidrófugo. O barreamento foi confeccionado de baixo para cima de modo que cada nova camada sobrepuasse a anterior, como telhas. Outro fato percebido durante a confecção foi à necessidade de caminhos para escorrer as águas das chuvas.

Para analisar os resultados desta construção, é necessário observarmos dois momentos distintos: um quanto à montagem da geodésica, à passagem da tecnologia e aos frutos de sua convivencialidade; o outro é relativo à cobertura finalizada, seus pontos positivos e negativos.

A montagem desta cobertura foi parte fundamental na concretização de uma extensa pesquisa sobre geodésicas, especialmente sobre sua deformação, abordada pelo autor desta tese em sua dissertação de mestrado. Este fato, por si só, já representa grande relevância, considerando que em nosso país é muito difícil aplicar pesquisas que envolvam tecnologias alternativas e de cunho social, fora do meio acadêmico.

Ainda envolvendo a área de pesquisa, outro resultado positivo obtido com esta montagem foi o uso da tecnologia computacional em campo, em conjunto com as técnicas tradicionalmente utilizadas e desenvolvidas pelo LILD. Isto foi feito através dos modelos eletrônicos, confeccionados como parte da dissertação do pesquisador João Victor (Correia de Melo, 2011).

Passando ao fator humano cabe-nos observar a satisfação gerada na equipe do mutirão ao observar um objeto construído por eles próprios. Importante observar que isso apenas foi possível devido à utilização de tecnologias acessíveis, assim como a coletividade durante as interações inerentes à montagem, possibilitando uma autonomia do grupo, tendo em vista a facilidade do aprendizado da técnica, assim como a utilização de materiais locais.

Dez meses após a finalização do barreamento da cobertura alguns dados

puderam ser observados, alguns um tanto positivos e outros negativos. O ponto positivo foi a integridade estrutural da cobertura, sujeita às intempéries do clima subtropical de São Pedro de Alcântara, Santa Catarina. O objeto resistiu bem a estas condições climáticas, mesmo sem as proteções hidrófugas previstas anteriormente. Outro ponto positivo analisado foi seu conforto térmico, mantendo a temperatura interna sempre agradável ao usuário.

Apesar de o objeto manter-se formalmente estável durante os dez meses, o último período de chuvas causou certos danos a estrutura. Por ser uma geometria dômica, o escoamento das águas de chuva fica um tanto comprometida, afinal induz estas a escorrerem para sua base, o que gerou um inchaço nos alicerces de superadobe e descontinuidades na matriz do fibrobarro. Para resolver estes problemas, rufos de metal foram adicionados às laterais da geodésica para encaminhar as águas para locais adequados. Além disso, um novo reboco foi aplicado utilizando cimento, serragem (como carga) e um aditivo impermeabilizante à base de resinas vegetais.



Figura 17– Análise da cobertura em processo de barreamento após uma chuva.



Figura 18 - Cobertura depois de pronta e impermeabilizada

Analisados os passos, métodos e resultados obtidos, pode-se afirmar que os objetivos deste trabalho foram cumpridos de maneira satisfatória. O objeto foi construído e manteve-se estável, cumprindo plenamente sua função de origem, a cobertura, além de concretizar uma extensa pesquisa.

Técnicas foram partilhadas em ambos os sentidos, tanto por parte do laboratório, através dos pesquisadores envolvidos, quanto por parte do grupo social da rede PEMEAR, possibilitando o enriquecimento e reconhecimento dos valores de ambas as partes.

A aplicação de materiais locais, assim como técnicas acessíveis, tornou o trabalho muito mais fácil e autônomo, assim como a convivencialidade o tornou prazeroso e recompensador para toda a equipe envolvida nesta experiência.

Logicamente inúmeros pontos têm de ser revistos, estudados, modificados e melhorados, porém a essência mostrou-se bastante satisfatória, oferecendo uma base bastante sólida para que se siga no desenvolvimento e aperfeiçoamento deste objeto.

Em dezembro de 2011 o laboratório recebeu a notícia de que os alicerces da construção haviam cedido um pouco e rachaduras ficaram visíveis no muro que sustenta a geodésica. Prontamente foi realizado pela equipe de Yvy Porã um reforço de terra compactada nos alicerces e amarrações provisórias nas muretas rachadas, mas as fendas foram ficando cada vez mais largas segundo o relato da equipe local.

Algumas semanas mais tarde os pesquisadores nos enviaram algumas imagens da cobertura desabada sobre os muros igualmente destruídos. Após intensa troca de mensagens eletrônicas com toda a equipe envolvida, diversos aspectos foram analisados para que fossem avaliados os erros e acertos deste experimento e os motivos que levaram ao desabamento.



Figuras 19 e 20 – Estrutura desabada do domo sendo analisada por Jorge Timmermann

A conclusão geral foi que a cobertura desabou devido à movimentação de seus alicerces, que resultou nas rachaduras na mureta base e, conseqüentemente, no colapso do domo. Porém outros fatores também colaboraram para encurtar a vida útil do objeto construído. São eles:

- ausência de beiral que evitasse que as águas das chuvas molhassem tanto muro de base como alicerces de sacos de terra compactada. Existe um ditado que diz que a casa construída nos trópicos deve ter botas altas (bases elevadas) e chapéus largos (beirais grandes).

- construção e barreamento da estrutura antes de época de chuvas na região, o que fez com que a mistura que compõe a cobertura ficasse encharcada durante muito tempo antes de sua impermeabilização, aumentando seu peso e

comprometendo a qualidade dos materiais aplicados por deterioração.

- a mistura de cimento e barro na maioria das vezes acaba anulando as características positivas dos dois materiais, já que o cimento tem sua cura química e uma vez endurecido não retorna às suas características originais enquanto o barro tem sua cura por perda de água e pode voltar ao seu estado original se for hidratado. É possível que uma argamassa de cimento sem barro ou um fibrobarro sem cimento funcionassem melhor neste experimento.

- a ausência de um cinturão estrutural na base do domo favorece sua instabilidade estrutural. Para evitar movimentos na estrutura, os pontos onde o domo se apoia não devem se deslocar.

A contribuição deste caso para o estado da arte pode ser considerada tanto na fase de desenvolvimento quanto na fase de aplicação da pesquisa em campo. O desenvolvimento de um domo de base quadrada trouxe novas possibilidades construtivas sobre a geometria geodésica pois neste caso foram explorados domos derivados do octaedro e não do icosaedro como de costume no LILD. A deformação destas estruturas inspiradas nas deformações geradas em experimentos de laboratório com bolhas de sabão também foram muito proveitosas porque as bolhas têm comportamento estrutural que busca as superfícies mínimas onde os esforços se distribuem mais harmonicamente.

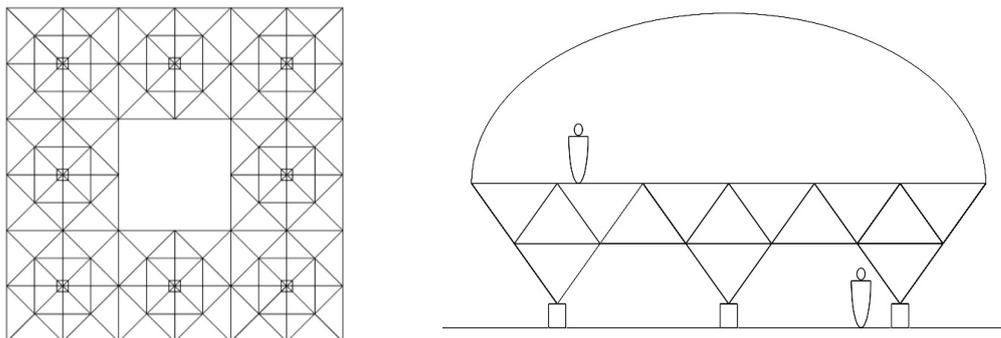
Com relação à construção coletiva do domo, o experimento trouxe resultados reais para a pesquisa não só durante os mutirões, onde as trocas de saberes ocorridas são lembradas pelos pesquisadores até hoje mas também pela ação do meio físico e social sobre o objeto, trazendo dados concretos e relevantes para esta pesquisa.

2.2

Estrutura de cobertura do Laboratório de Investigação em Livre Desenho

No primeiro semestre de 2007 foi dada a notícia de que o laboratório teria que ser remanejado para outro local e para isso seria necessário redesenhar a estrutura espacial treliçada modular do laboratório para que se adequasse ao novo espaço destinado a ele.

Já com a localidade definida, o projeto foi iniciado pela estrutura metálica que estava sendo reformada e recebendo tratamento de galvanização. Os primeiros estudos levaram à estrutura metálica se projetando das bases para fora, formando um beiral, e das bases para dentro, formando uma abertura central. Como cobertura, a primeira ideia era de uma geodésica ou uma cúpula de planta baixa quadrada.



Figuras 21 e 22 - Estudos da estrutura metálica do novo laboratório - Vista superior e fachada

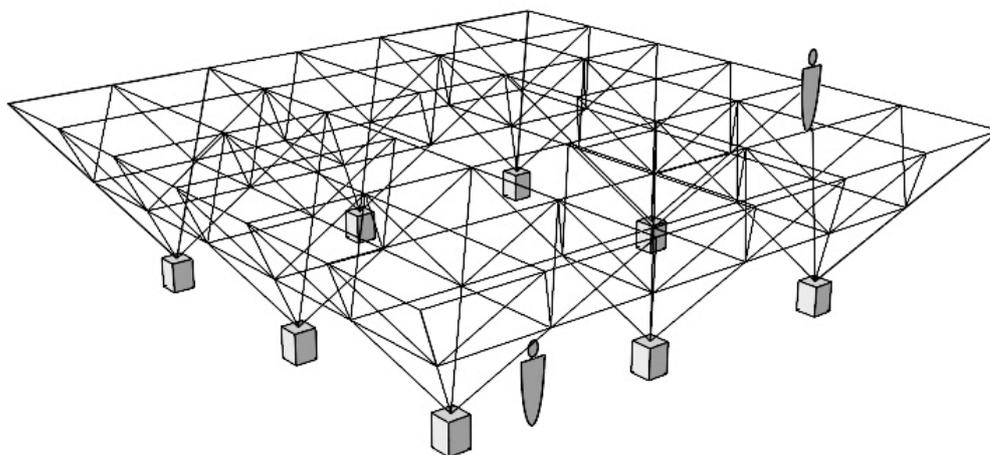


Figura 23 - Estudos da estrutura metálica do novo laboratório -Perspectiva

Com a estrutura metálica pré-definida foi então confeccionado um modelo em escala 1:50 a fim de estudar melhor esta estrutura e a interação dela com sua cobertura. Definido o modelo da estrutura metálica, foram iniciados os estudos da cobertura do laboratório. (Campos, 2009, p.69)

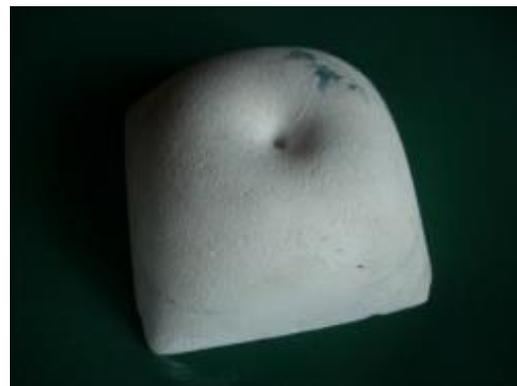
Seguindo a metodologia utilizada no laboratório, a concretização de modelos foi realizada em diversas linguagens, que interagindo entre si e com o pesquisador, enriquecem a pesquisa e trazem novos entendimentos a cada nova visualização.

Desse modo, foi criada uma primeira miniatura. O objetivo inicial foi gerar uma casca fina e rígida como modelo para a cobertura do laboratório. Para isto foi construído um dispositivo de madeira onde uma rede de cabos ortogonais com pesos de metal foi colocada sobre uma moldura para que a mesma deformasse por gravidade. Depois a malha deformada foi revestida com filme de PVC, usado aqui como desmoldante, e foram aplicadas tiras de atadura de algodão e gesso produzindo uma casca fina que depois de seca foi retirada do dispositivo. O resultado foi o modelo em casca de gesso de uma cúpula de planta baixa quadrada em escala 1:50.

Posteriormente, foi realizada outra deformação por gravidade com o objetivo de estabelecer limites para esta deformação, porém um resultado inesperado apontou uma forma interessante. Um pino metálico que foi colocado como limitador da deformação produziu outra deformação, o que inspirou a forma final adotada para a cobertura. A nova forma criava um ponto de ancoragem interno, diminuindo o vão livre, reduzindo esforços na estrutura e, além disso, a cobertura teria uma abertura no centro que permitiria a entrada da iluminação natural e o recolhimento da água da chuva, como acontecia no antigo laboratório LOTDP/LILD.



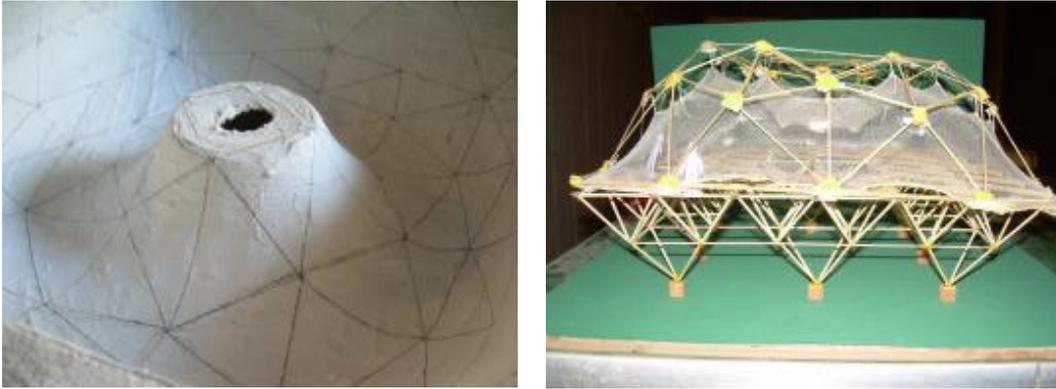
Figuras 24 e 25 – Dispositivo para construção da casca e casca já fora da fôrma.



Figuras 26 e 27 –Dispositivo e forma pronta com ponto de ancoragem

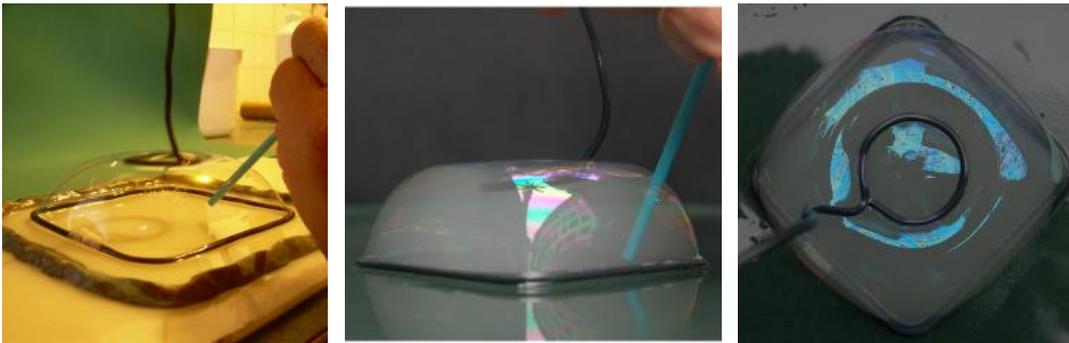
Com o objetivo de fazer uma nova casca de gesso com um ponto de ancoragem interno, retornou-se ao primeiro dispositivo projetado e colocou-se um cilindro no meio, com a rede de cabos apoiada sobre o mesmo, produzindo uma nova casca de algodão e gesso em escala 1:50.

Com a casca do experimento anterior, a geometria interna foi dividida de forma simétrica em triângulos e, a partir daí foi construída uma estrutura reticulada de barras trianguladas com palitos de bambu que ligam os vértices dos triângulos, trazendo como resultado um primeiro modelo físico em escala 1:50 do que seria a forma da estrutura de cobertura do novo laboratório.



Figuras 28 e 29 - Casca com ancoragem interna e estrutura de barras trianguladas

Como um novo experimento, iniciaram-se testes de deformação controlada de bolhas de sabão, com o objetivo de gerar a superfície mínima da cobertura do laboratório. As bolhas foram escolhidas porque funcionam seguindo a lei do mínimo esforço, ou seja formam as menores e mais eficientes superfícies para cobrir uma mesma área ou volume.



Figuras 30, 31 e 32 - Bolhas de sabão com deformação controlada

Encontrada a forma objetivada, partiu-se então para um novo desafio. Como é de conhecimento geral, as bolhas de sabão são estruturas extremamente delicadas e, portanto, volúveis. Essa volatilidade demonstrou-se como a principal barreira à reprodução da geometria para a utilização na cobertura do novo laboratório, pois a fugacidade do objeto não permitia a execução de moldes para a confecção de modelos de estudo, recebendo assim a alcunha de “Fantasmas do LILD”: era vista, fotografada, porém, não podia ser tocada.

Dessa maneira, buscou-se algo que fosse o mais próximo possível da bolha de sabão, optando-se pelo látex inflado. Foram feitos, então, uma série de dispositivos - visando à obtenção da geometria pneumática necessária - por meio

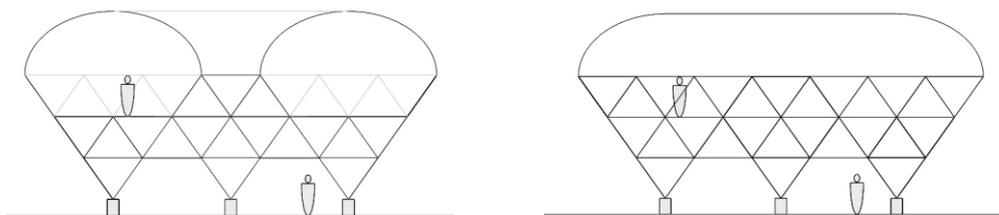
dos quais pudéssemos retirar um molde de gesso da forma inflada a fim de trabalhar com os modelos físicos reduzidos.



Figuras 33, 34 e 35 - Inflável de látex e deformação controlada do látex em um dispositivo

Descontentes com os resultados obtidos através do dispositivo pneumático e devido a evidente dificuldade na obtenção da forma desejada num modelo mecânico estável, optou-se por procurar o Instituto Nacional de Tecnologia (INT). Foram, então, levadas fotos – os “Fantasmas do LILD” – e imagens dos experimentos, assim como os parâmetros do projeto, e o modelo em gesso obtido pelo dispositivo da figura 32, para que, dessa forma, fosse possível um escaneamento e confecção de um modelo eletrônico, possibilitando a concretização de um modelo físico através de uma fresa CNC⁴.

Concomitantemente ao processo de escaneamento, pequenas alterações foram feitas na estrutura metálica com a finalidade de melhorar a interação entre a estrutura metálica e a estrutura de cobertura. Foi levantada uma torre central e adicionadas laterais mais altas que o nível do piso.

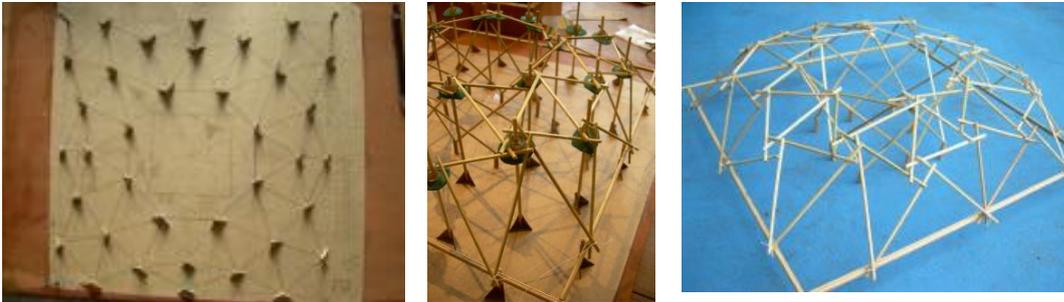


Figuras 36 e 37 - Desenhos de corte e fachada do laboratório em rascunho eletrônico

Neste momento do projeto já existiam as coordenadas necessárias para a confecção dos modelos sem o auxílio de moldes negativos e com a possibilidade de melhor detalhamento das juntas, unindo-as em giro. Para isso foi criado um dispositivo onde a projeção da cobertura era desenhada na base e, a partir das

⁴ Controle Numérico Computacional

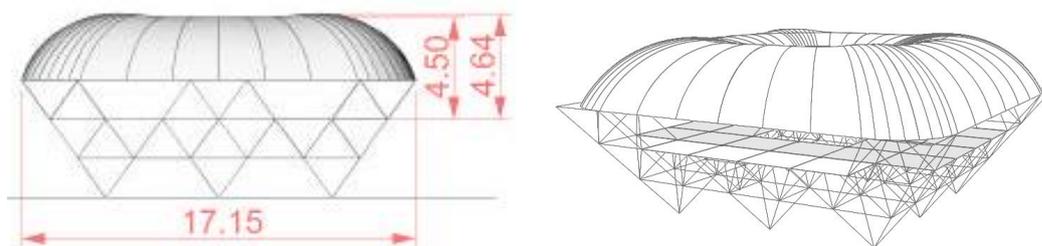
juntas desenhadas, um palito de bambu suportava rodela de borracha localizadas nas alturas pré-determinadas. O resultado foi o primeiro modelo montado em giro com a estrutura de cobertura em escala 1:50.



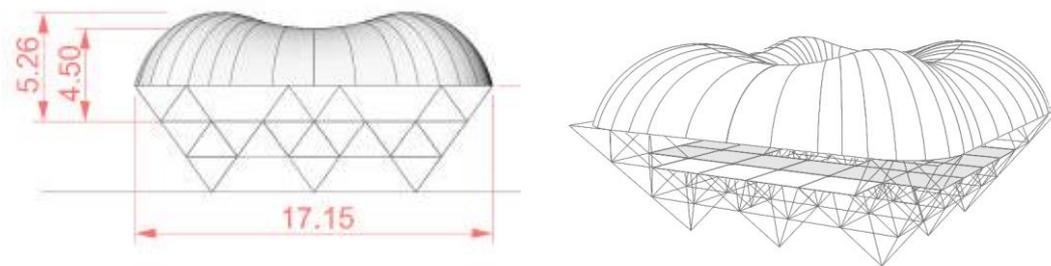
Figuras 38, 39 e 40 - Dispositivo de montagem do modelo e modelo fora do dispositivo

Com o mesmo dispositivo anterior, foi gerado um novo modelo onde a estrutura central também é triangulada e se apoia nas quinas do quadrado central da estrutura metálica. Iniciou-se também o processo de utilização de barras de tamanhos pré-estabelecidos, identificados por diferentes cores.

Em paralelo ao desenvolvimento de modelos sem o uso de moldes negativos, seguiu-se com o desenvolvimento de modelos eletrônicos, com o intuito de obter um molde positivo fresado por CNC. Dessa forma, já consideradas as alterações na infraestrutura metálica, foram feitas algumas alternativas de diferentes geometrias baseadas no modelo gerado pela nuvem de pontos obtida pelo escaneamento. Esses modelos eletrônicos diferenciavam-se entre si pela suavidade das curvas, variando de um bem suave, até um com as curvas mais proeminentes.



Figuras 41 e 42 - Modelagem eletrônica de opções com curvas mais suaves



Figuras 43 e 44 - Modelagem eletrônica de opções com curvas mais exageradas

Em continuidade, optou-se por utilizar a geometria com as curvas mais acentuadas, afinal, se a cobertura funcionasse nesta forma, com certeza funcionaria nas mais suaves também. Desse modo, a geometria de curvas exageradas foi levada à central CNC, obtendo um molde positivo, por meio do qual foi extraído um molde negativo, que posteriormente foi triangulado com palitos de bambu, exatamente como os já citados.

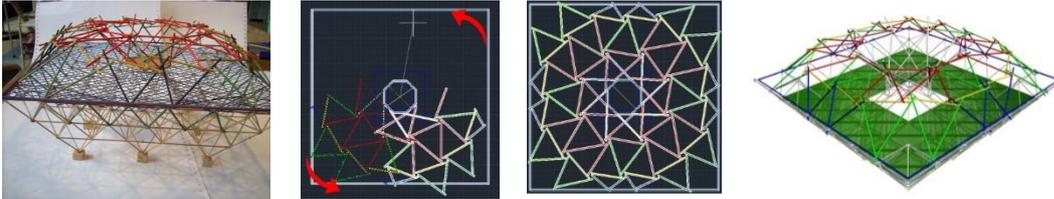
Vale lembrar que a tecnologia de computação gráfica, na forma como foi utilizada, não conseguiu reproduzir com exatidão a geometria da bolha de sabão, causando algumas discontinuidades na superfície fresada por CNC; no entanto, essas discontinuidades não foram um fator que impossibilitasse o prosseguimento da pesquisa.



Figuras 45, 46, 47 e 48 - Geometria fresada por CNC, molde negativo, geometria reticulada, e detalhe da descontinuidade observada

A partir desse momento foram conduzidos mutuamente os modelos físicos e os modelos eletrônicos, de modo que ambos dialogassem, complementando um ao outro, e trazendo novos dados à pesquisa por meio dessa interação. Concluiu-se com isso que os modelos, tanto o mecânico quanto o eletrônico, são na verdade um só. Ambos são o mesmo conceito em linguagens diferentes e, portanto, estados distintos de um único modelo.

Iniciou-se o processo pelo estado mecânico, pintando as barras de tamanhos iguais e aplicando a conexão “em giro”. O estado eletrônico seguiu esses mesmos passos, no entanto, trouxe uma nova visão sobre o “giro”. Diferente da obtenção no estado mecânico, a obtenção da junta em “giro” no estado eletrônico deixou clara a observação de um “giro” na geometria como um todo, não apenas no liame, nos indicando que não se tratava de uma geometria simétrica, e sim uma geometria de rotação polar.



Figuras 49, 50, 51 e 52 - Perspectiva em estado mecânico; Obtenção do giro, planta e perspectiva em estado eletrônico

Utilizando os dados gerados a partir da interação entre os dois estados do modelo – por exemplo: a lógica de montagem veio do mecânico, o tamanho das barras veio do eletrônico -, iniciou-se, então, a confecção de um novo estado mecânico desse modelo, alterando a escala até então trabalhada, de 1:50, para 1:10. Esse experimento de tamanho maior foi útil para que pudessem ser observadas as ordens de montagem, as dimensões dos giros e uma melhor visualização do espaço coberto por essa estrutura.

Esta solução não foi totalmente satisfatória, devido à quantidade excessiva de barras e tamanhos de barras - noventa e seis peças de cinco tamanhos diferentes. Além disso, ainda era necessário solucionar a lona, que estruturada pela geometria de bambu, cobriria o espaço.

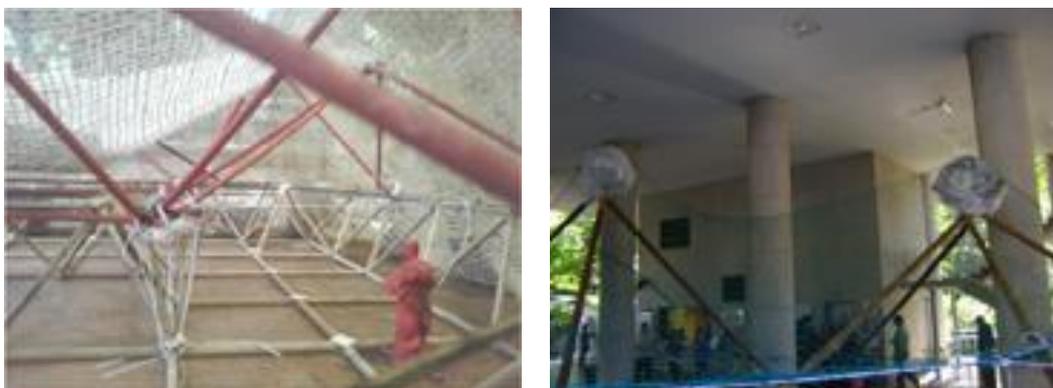
Desse modo, foi criada uma nova miniatura da infraestrutura metálica na escala 1:25, para que pudesse ser estudada uma nova geometria que se utilizasse dos bambus de seis metros que tínhamos disponíveis para a estrutura da cobertura.

De posse de uma série de varetas representando os bambus de seis metros, foram testadas as possibilidades do uso dos elementos do mesmo tamanho. A solução encontrada, inesperadamente, foi bastante simples: tripés e quadripés de alturas diferentes, amarrados à estrutura e ligados na parte superior por colmos também de seis metros.



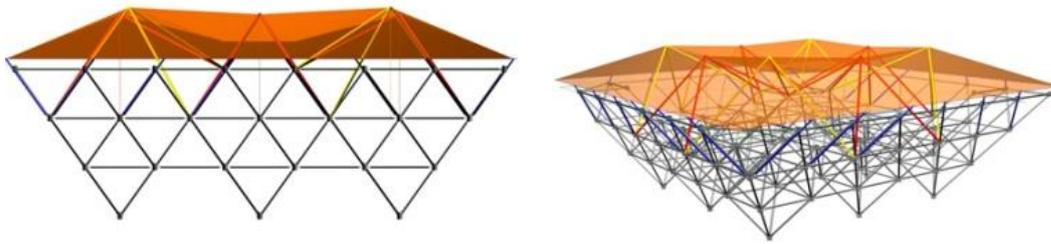
Figura 53, 54 e 55 - Miniatura da infraestrutura metálica e vistas do novo modelo em escala 1:25

Optou-se por apoiar a lona por cima dos tripés e quadripés, diferentemente do modelo de cobertura anterior, onde a lona encontrava-se por baixo da estrutura de bambu. Desse modo, foi feito um experimento em escala 1:1, para melhor compreensão das movimentações e interações entre os elementos constituintes da cobertura. Foi utilizada uma lona plana.



Figuras 56 e 57 - Miniatura e experimento em escala 1:1 da colocação da lona tensionada

Observadas as dificuldades de montagem e os espaços que se formaram, foi decidido alterar o local de ancoragem das peças de bambu. Antes colocados no último nível de tubos da infraestrutura metálica, foi notado que seria muito trabalhoso monta-los ali, além disso, impor a essa parede um esforço que a mesma não estaria preparada para suportar. Dessa forma, os bambus foram apoiados no nível anterior e exatamente em cima de uma das juntas da treliça da infraestrutura metálica. Apenas os pontos de ancoragem da parte interna da geometria foram mantidos no último nível de tubos, porque facilitaria a montagem e não comprometeria a parede, considerando que o prisma interno, pelo seu formato, resistiria aos esforços.



Figuras 58 e 59 - Modelo em estado eletrônico do novo layout da estrutura de bambus

Para a montagem dessa estrutura da cobertura foram utilizados colmos de bambu da espécie *Phyllostachys pubescens*, conhecido popularmente como Mossô, especialmente coletados e tratados em forno por defumação, com o tamanho total de seis metros cada colmo.

O bambu, uma vez seco, pode eventualmente rachar. Ainda não se conhece suficientemente os motivos deste fenômeno e também a solução para o mesmo. No entanto, sabe-se de uma fragilidade do bambu, ligada provavelmente aos motivos dessa rachadura, que é a sua baixa resistência às tensões tangenciais. Essa resistência é cerca de cem vezes menor que a resistência às tensões paralelas, que são do mesmo teor que as tensões do aço. O problema básico é que uma vez o bambu rachado, sua resistência mecânica é consideravelmente, reduzida.

Dessa forma, de modo a aumentar essa resistência tangencial, utilizou-se de um compósito estrutural, já desenvolvido no LILD, constituído de fibras naturais vegetais, com os feixes fibrosos entrecolados com resinas de origem vegetal - orientados conforme a situação estrutural requerida -, aderindo-o à superfície do bambu. Como esse processo selava o colmo, conforme uma capsula, o mesmo foi nomeado “*encapsulamento*”.

Utilizando resina de mamona e gaze industrial, além de barro e óxidos como carga, foram encapsulados todos os trinta e seis colmos formadores da geometria da cobertura. Também Foram aplicadas bandagens de resina de mamona e percinta de juta a cada dois metros, para complementar a ação do compósito.



Figuras 60 e 61 - processo de encapsulamento e bambus encapsulados em uso na estrutura

Preparados os bambus e definidos os parâmetros geométricos e de montagem, encomendou-se a lona plana única, de vinte por vinte metros, que cobriria o espaço. Mesmo compreendendo a especificidade de uma lona modelada, optou-se pela lona plana, visto que a geometria gerada é quase planar, e as pregas que se formariam serviriam como pingadeiras, escoando a água da chuva.

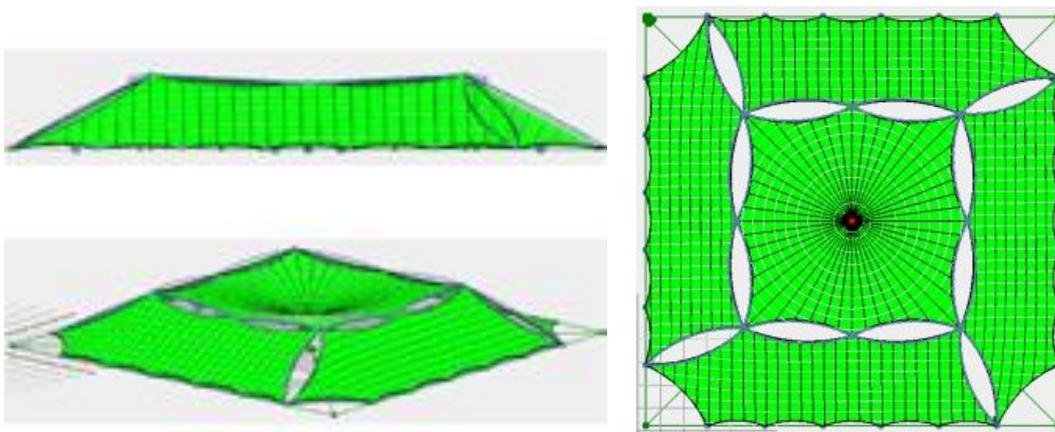
Toda a equipe do laboratório foi mobilizada em turnos para a montagem da cobertura. Os tripés e quadripés foram amarrados no chão - visto que ainda não havia piso no andar onde seria montada a estrutura de bambus – por meio de nós do tipo “volta do fiel”, confeccionados com cordas de polipropileno trançados com alma, tendo um diâmetro de oito milímetros.

Os elementos eram erguidos até o nível onde seriam montados por meio de cordas e, uma vez no local, cada perna era responsabilidade de um membro da equipe que a colocava no local determinado, assim como a amarrava nesse ponto. Devido à dificuldade de montagem, optou-se por não colocar os colmos que ligariam os topos dos tripés e quadripés,.

A lona foi tensionada onde foi possível, visto que uma parte dela foi deixada dobrada devido à existência de uma árvore que deveria passar por dentro da mesma. Em função da inexperiência da equipe com montagem de tamanha magnitude – quatrocentos metros quadrados de lona cobrindo uma área de duzentos e noventa metros quadrados – algumas falhas ocorreram e, com a ocorrência de uma tempestade de verão, enormes bolsões de água se formaram, rasgando a lona em vários pontos. Por outro lado, vale lembrar que a estrutura de

bambus não colapsou e, em certos pontos, por causa dos bolsões de água, resistiu a cargas superiores à esperada.

Repensado o formato da lona, decidiu-se por separá-la em cinco partes distintas, sendo as quatro periféricas iguais, modeladas de acordo com a geometria da estrutura. Terminado esse processo, contratou-se uma empresa responsável por confeccionar e montar essa nova lona. Quanto à estrutura de bambus, optou-se por remontá-la, adicionando barras que ligam os topos dos tripés e quadripés, assim como acertando a altura das amarrações de cada um desses elementos.



Figuras 62 e 63 - Novo projeto da lona, vistas em estado eletrônico

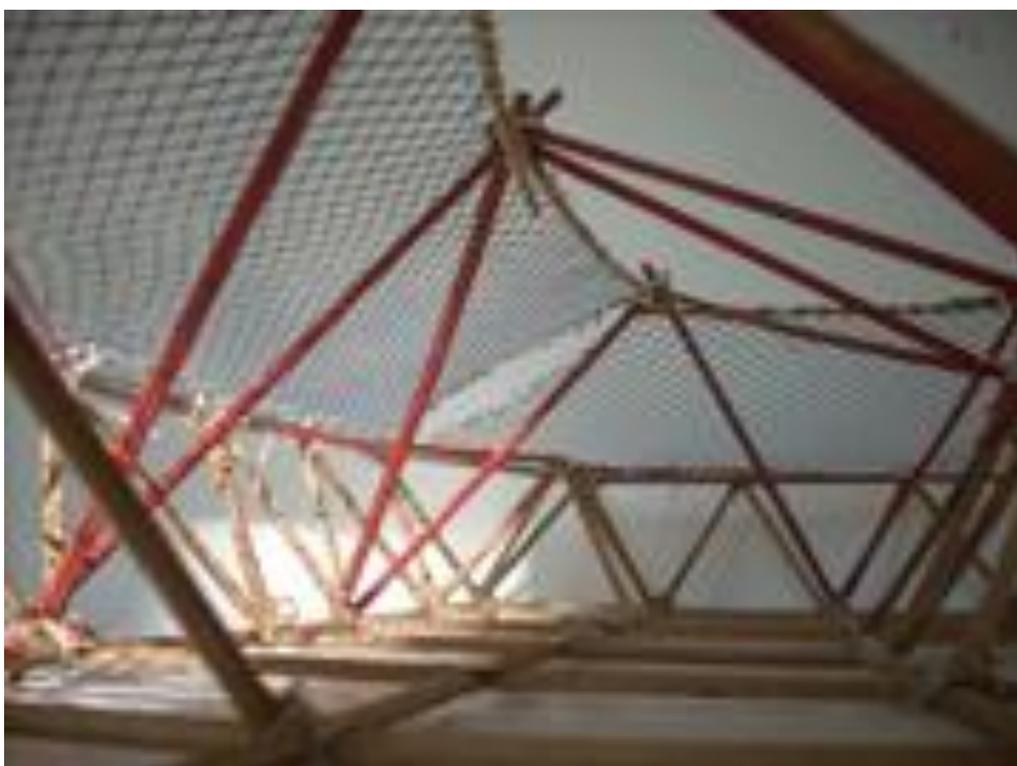


Figura 64 - Novo projeto da lona, detalhe em estado físico reduzido escala 1/25



Figura 65 - Cobertura em estado de uso na PUC-Rio



Figura 66 - Cobertura em estado de uso na PUC-Rio

Assim como a construção do domo de Yvy Porã, o desenvolvimento e a montagem desta cobertura também foram fundamentais para a pesquisa aplicada sobre as deformações das geodésicas e, por outro lado, abriu novas possibilidades de investigação sobre as superfícies mínimas geradas pelas bolhas de sabão.

Além disso, o uso da precisão dos modelos eletrônicos associados aos modelos físicos reduzidos, mais uma vez enriqueceu a pesquisa demonstrando que a tecnologia computacional e as técnicas de fabricação artesanais podem dialogar para gerar resultados específicos a partir de cada ferramenta disponível.

Apesar de trabalhoso, foi de extrema valia o empenho da equipe no processo de montagem. Sem dúvida o contratempo ocorrido após a primeira ação desmotivou um pouco o grupo, porém, trouxe novos dados fundamentais à realização da estrutura de forma definitiva.

Após alguns meses em uso, diversos aspectos puderam ser observados. Um ponto positivo foi a integridade estrutural da cobertura quando sujeita às tempestades e outras intempéries inerentes ao clima tropical úmido do Rio de Janeiro, o objeto resistiu bem a esse clima. Outro ponto positivo analisado é o fato de essa ser a maior estrutura resultante dos estudos do LILD, demonstrando a maturidade técnica da pesquisa desse laboratório.

Um ponto negativo refere-se ao tensionamento da lona. O relaxamento característico de qualquer material quando solicitado sob tensão não foi considerado na confecção da lona por parte da empresa responsável. Desse modo, foi necessário adicionarmos uma linha de bambus amarrados à infraestrutura, para que a lona possa ser novamente tensionada, com a finalidade de ajustá-la às tensões ideais.

O objeto em questão, a cobertura do LILD, mantém-se estável e em pleno uso na PUC-Rio. A oportunidade de observar e analisar quase diariamente os efeitos do tempo sobre o objeto construído coletivamente pela própria equipe do laboratório colabora significativamente para a pesquisa.

3

Desenvolvimento de modelos de estruturas de cobertura para aplicação da pesquisa em campo

No capítulo 3 serão relatados os experimentos gerados em laboratório para o desenvolvimento de estruturas de cobertura, que podem ser construídas coletivamente para fins de pesquisa e, posteriormente, serem utilizadas como espaços arquitetônicos em seu contexto específico.

Estas construções cumprem um dos objetivos do laboratório que é a aplicação da pesquisa, através do ensino de técnicas simples e de baixo impacto ambiental, conhecidas como transferência tecnológica. Nesta tese estas práticas educativas, ocorridas nos mutirões de construção coletiva, são chamadas pelo autor de trocas convencionais, por acreditar que geram muito mais do que somente tecnologia e sempre ocorrem de forma mútua, retroalimentando a pesquisa.

O desenvolvimento de novos modelos e protótipos de estruturas de cobertura, bem como a construção coletiva das mesmas em escala e contexto reais para uso comunitário, trazem resultados reais para a pesquisa, ampliando o repertório de unidades estruturais do LILD, contribuindo assim para o estado da arte.

3.1

Cobertura para a Estação Agroecológica Sítio Abaetetuba

No início de 2010, o biólogo e permacultor Angelo Rayol, responsável pela Sítio Abaetetuba, procurou o autor desta tese para propor uma parceria com o LILD. O local é uma Estação Agroecológica, ou seja, segue os princípios da agroecologia para gerar alimentos regenerando o ambiente através de métodos de melhorias no solo, principalmente. Situado em Lumiar, Nova Friburgo, região serrana do estado do Rio de Janeiro a, aproximadamente, 700 metros de altitude em região de Mata Atlântica, o sítio recebe frequentemente grupos de estudantes para visitas guiadas e para cursos e vivências ligados a Permacultura.

A ideia de Angelo era construir uma estrutura de cobertura anexa ao galpão utilizado como alojamento e refeitório dos estudantes para que o local ampliasse sua área coberta. Ele propôs um curso de construção com bambus onde ele forneceria o material, os aprendizes do curso seriam a mão de obra para construir em regime de mutirão e o LILD teria uma experiência de ensino e aprendizado através da convivência entre os diferentes participantes, além de um objeto construído em escala real para poder acompanhar e analisar seu uso.

A primeira sugestão para a forma foi o parabolóide hiperbólico pois este resultaria numa superfície curva utilizando varas retas de bambu, entretanto havia uma limitação quanto ao tamanho máximo das varas disponíveis para a construção, já que no sítio não havia bambus disponíveis para a construção. Estes teriam de ser coletados numa propriedade vizinha, onde o bambuzal, da espécie *Phillostachis aurea*, também conhecido popularmente como bambu-mirim, não era muito farto. Foram desenhadas então algumas opções de cobertura combinando dois, três ou quatro paraboloides. Assim a área a ser coberta, de aproximadamente 3 x 6 metros, poderia ser dividida em módulos, nos quais o vão a ser atingido e, conseqüentemente, o tamanho das peças que comporiam os paraboloides, seria reduzido.

A partir de então, foi iniciada a construção de modelos para a definição da forma e estudo das etapas de montagem da estrutura. O primeiro modelo apresentava curvas acentuadas e era pouco eficiente em seu perímetro, mostrando uma cobertura em que cada parabolóide projetava uma grande ponta como beiral, mas recuava na interseção entre dois módulos. Após ser analisada, chegou-se à

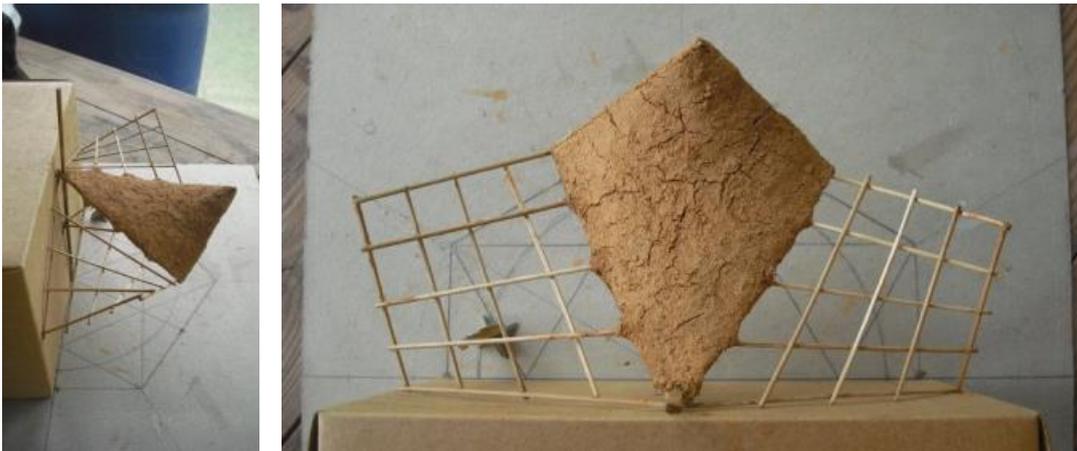
conclusão que a relação entre perímetro e área não era ideal, tendo em vista que a cobertura tinha muito perímetro para pouca área e utilizaria mais bambus que o necessário. A grande diferença de altura entre a parte mais alta e mais baixa, de dois metros e meio, também precisava ser repensada.

O segundo modelo foi desenhado a partir da planta baixa com a finalidade de ganhar eficiência na relação perímetro/área. A partir da metade de um hexágono, gerado a partir da divisão de duas de suas arestas opostas ao meio, foram desenhados três módulos idênticos e com pouquíssima diferença de altura entre o cume e a pingadeira, um metro exatamente. A relação entre o perímetro e a área se mostrou muito eficiente, mas a diferença de altura pareceu inadequada para uma região que enfrenta chuvas muito fortes durante todo o ano, necessitando portanto de um ângulo maior para o escoamento das águas da cobertura.

O terceiro e último modelo era bem parecido com o segundo, apresentando modificações apenas na altura entre cume e pingadeira, agora de 1,5 m, alterando a inclinação de 33% para 50%. O resultado foi uma forma harmônica e que atendia aos requisitos levantados anteriormente: uma boa relação perímetro/área e uma inclinação adequada ao local onde seria construída.



Figura 67– Modelo em escala da estrutura de cobertura com uma parte barreada



Figuras 68 e 69 – Modelo em escala da estrutura de cobertura com uma parte barreada

A intenção inicial era construir coletivamente esta estrutura em quatro dias e, após a secagem do barro, voltar ao local para impermeabilizá-la, deixando-a pronta para o uso. Porém, por dificuldades em coordenar a agenda dos pesquisadores com a dos membros do sítio, somada à falta de mão de obra para a realização de um mutirão fizeram o planejamento ser alterado e a construção se deu em duas etapas: em abril de 2010 foi construída a estrutura de bambus e em agosto do mesmo ano a estrutura foi barreada.

Na primeira etapa a expectativa era de reunir aproximadamente 20 pessoas para o mutirão, mas o total de construtores foi cinco, o que atrasou consideravelmente o cronograma. A partir de um gabarito montado no chão, foram conferidos os tamanhos das peças determinados pelo modelo final e iniciou-se a montagem do primeiro módulo da estrutura.



Figura 70 – Marcação do gabarito no chão



Figura 71 – Início da montagem do primeiro módulo



Figura 72 – Montagem do primeiro módulo

Utilizando colmos de bambu mirim (*Phillostachys aurea*), de aproximadamente 4 centímetros de diâmetro basal, foi iniciada a montagem da estrutura primária dos módulos a partir das extremidades, que foram amarradas por torniquetes. As peças da estrutura interna foram amarradas posteriormente

também por torniquetes e conferiram rigidez à estrutura, que por sua vez se mostrou muito leve.



Figura 73 – Amarrações com torniquetes



Figuras 74 e 75 – Estrutura primária de um módulo montada e erguida com facilidade

Em seguida foram confeccionadas ripas de bambu mirim utilizando uma ferramenta chamada faca radial ou faca estrela. Tais peças foram trançadas na estrutura primária, diminuindo os vãos da cobertura e criando uma estrutura secundária que definiu a superfície do módulo que receberia posteriormente o tecido de juta e o barro. As ripas foram amarradas nos colmos das extremidades

de cada parabolóide através de cordas sintéticas de polipropileno, garantindo maior rigidez à estrutura.



Figuras 76 e 77 – Bambu sendo ripado com faca radial e ripas prontas para uso



Figuras 78 e 79 – processo de trama das ripas na estrutura



Figuras 80 e 81 – Módulo sendo trançado na estrutura e trama ortogonal

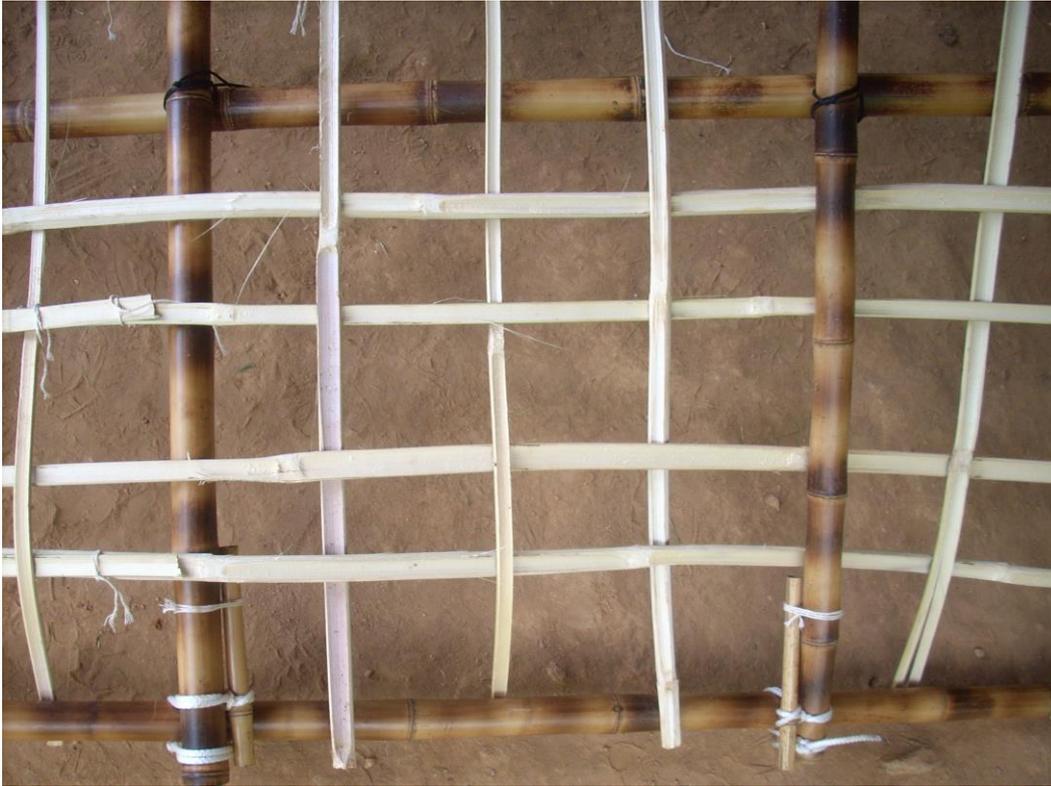


Figura 82– Detalhes da estrutura e da trama de ripas



Figuras 83 e 84– Diferentes vistas do módulo

Após a montagem dos três módulos foram preparadas duas esperas de madeira que, aparafusadas à estrutura já existente do alojamento, serviriam como base para apoio e fixação dos módulos de bambu.

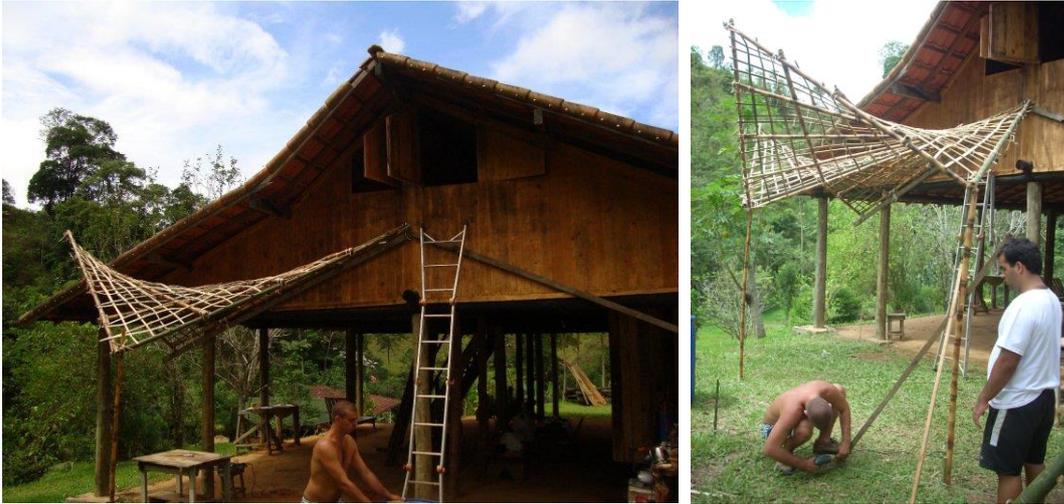


Figuras 85 e 86 – Colocação das esperas de madeira para receber os módulos



Figuras 87 e 88 – Nivelamento da altura com mangueira de nível e colocação dos módulos

O primeiro módulo foi instalado apoiando uma de suas arestas em uma das esperas de madeira e com o auxílio de uma mangueira de nível foi marcada no pilar de bambu a altura do ponto mais baixo (pingadeira), transferido do vértice apoiado na espera. O mesmo procedimento foi realizado para a instalação do segundo módulo, com a diferença que este ficou amarrado ao primeiro e, posteriormente, ao terceiro módulo, com seus dois vértices mais baixos apoiados em pilares de bambu.



Figuras 89 e 90 – Início da Instalação dos módulos

Sendo assim, o terceiro e último módulo foi instalado amarrando uma das arestas no segundo módulo e a outra apoiada na espera de madeira presa à estrutura. Com os três módulos instalados, as amarrações foram reforçadas e a estrutura se mostrou bem estável.



Figura 91 – Estrutura de três módulos montada



Figura 92 – Estrutura de três módulos montada

Foi realizado então o escoramento da estrutura para colocação do tecido de juta esticado sobre a superfície formada pelos três módulos. O escoramento foi necessário para que os envolvidos na construção pudessem andar sobre a cobertura com mais segurança. O trabalho de fixação do tecido na estrutura foi iniciado com a utilização de agulhas grossas e linha de algodão, tarefa lenta e pouco eficiente, já que algumas partes do tecido ficaram repuxadas criando uma superfície descontínua. Tal técnica foi logo substituída por um grampeador de pressão, que tornou o serviço mais ágil e auxiliou a equipe a deixar a superfície bem definida e esticada.



Figuras 93, 94 e 95 – Revestimento dos módulos com tecido de juta



Figura 96 – Construtores observam a estrutura durante uma pausa



Figura 97 – Esticando o tecido com o auxílio de grampos



Figura 98 – Esticando o tecido com o auxílio de grampos



Figura 99 – Modelo físico reduzido escala 1/25 e objeto construído real

Após a colocação do tecido de juta, foram realizados dois testes de cobertura e impermeabilização para avaliação de qual seria o melhor custo-benefício para a estrutura. O primeiro teste foi realizado utilizando apenas materiais disponíveis localmente como o barro, o esterco fresco de vaca e a palha da braquiária. O barro foi peneirado, hidratado e pisoteado até ficar com consistência homogênea e depois foi adicionado à mistura o esterco fresco, que também passou por pisoteio. As fibras de braquiária foram adicionadas aos poucos e o material foi aplicado sobre um painel trançado de ripas de bambu, semelhante ao utilizado nas superfícies parabolóides.



Figuras 100, 101 e 102 – Materiais locais: Barro, esterco fresco de vaca e palha de braquiária



Figuras 103, 104 e 105 – Materiais misturados e sua aplicação sobre painel trançado

O resultado obtido com o primeiro teste demonstrou que para deixar a superfície contínua, sem pequenas reentrâncias, seria necessário ou que o painel fosse adensado, diminuindo seus vãos, ou que pouco a pouco fosse adicionado mais barro à superfície, a fim de corrigir imperfeições. O segundo teste realizado foi a impregnação de resina de mamona sobre o tecido de juta fixado a outro painel, sem a utilização de outro material. O resultado obtido foi satisfatório, pois a superfície ficou bem rígida e presa ao trançado e não apresentou deformações. Porém, a quantidade de resina utilizada foi grande, o que inviabilizaria esta escolha para a impermeabilização da cobertura devido ao seu alto custo.



Figuras 106, 107 e 108 – Detalhes da aplicação de resina de mamona sobre painel de bambu e juta

Em agosto do mesmo ano, uma equipe do LILD composta pelo autor desta tese, Julia Teles, doutoranda em Design pelo DAD e João Barata, graduando em engenharia ambiental, foi ao Sítio Abaetetuba se juntar a Angelo e Bruno Salles, graduando em Agronomia pela UFRRJ, com o objetivo de realizar o barreamento da cobertura. A intenção do grupo era fazer uma camada fina para que a cobertura ficasse leve, portanto a técnica utilizada consistia em impregnar tecidos de juta, provenientes de sacos utilizados em transporte de batatas, com barro e esterco fresco pisoteado em estado pastoso, utilizando processo semelhante ao de engessamento através de ataduras de algodão, aplicando camadas sobrepostas à estrutura existente.



Figuras 109, 110 e 111 – Barro seco, barro hidratado com tecido de juta e juta barreada

Após a hidratação e pisoteio do barro, foi adicionado à mistura esterco fresco para dar estabilidade à massa, e novamente pisoteado, até atingir consistência pastosa que pudesse ser impregnada no tecido de juta. Este trabalho de impregnação foi realizado simplesmente esticando o tecido sobre a massa de barro e pisando sobre a juta até que seus poros fossem quase que completamente

fechados e em seguida repetindo o processo do outro lado do tecido, para que a juta estivesse totalmente impregnada da mistura, em ambos os lados.

Para iniciar o processo de barreamento da cobertura a equipe se dividiu em duas. Enquanto três pessoas ficavam no chão preparando as jutas impregnadas com barro, outras duas ficavam em cima da cobertura esticando os pedaços de tecido sobrepostos e adicionado barro com as mãos para preencher pequenas falhas e alisar a superfície.



Figura 112 – Parte da equipe pisoteia a juta no barro e parte estica o tecido barreado



Figura 113 – Parte da equipe pisoteia a juta no barro e parte estica o tecido barreado



Figura 114 – Colocação das jutas barreadas sobre a estrutura



Figura 115 – Recebendo a juta arremessada pelos construtores



Figura 116 – Esticando o tecido sobre a cobertura

Através da janela do alojamento também eram servidos à equipe da cobertura baldes com barro. E assim se deu todo o processo, iniciado nos beirais e terminado na cumeeira, para que a cobertura já barreada fosse pisada o mínimo possível. E através da mesma janela do alojamento, Angelo, o último da equipe na cobertura, entrou para não mais pisar no barro e alisar a superfície com um rolo de pintura prolongado com um cabo de bambu.



Figuras 117 e 118 – Equipe trabalhando de baixo para cima do telhado



Figuras 119 e 120 – Acabamento com rolo de lã sobre a cobertura barreada

Depois que a cobertura estava barreada e sua superfície totalmente alisada, o sentimento coletivo era de realização ao mesmo tempo em que alguns erros eram contabilizados e analisados. A trama ortogonal de ripas de bambu em alguns locais criava pequenas reentrâncias na superfície, que poderiam causar acúmulo de água e por isso foram preenchidas com mais barro, o que alisou a superfície mas, em contrapartida, aumentou consideravelmente o peso da estrutura. Duas soluções possíveis para este problema seriam: esticar melhor o tecido base de juta

para que não cedesse ao ser aplicada a juta impregnada com barro e criar uma trama mais fechada (menor que 10 cm) e regular para receber o tecido, já que em algumas partes a trama de ripas criava descontinuidades na superfície. Outro aspecto analisado eram os locais onde as águas da cobertura escoariam, o que poderia causar umedecimento de algumas madeiras como as paredes do alojamento e os pilares da nova cobertura, já que tais peças não se encontravam recuadas em relação à cobertura.



Figura 121 – Cobertura pronta



Figura 122 – Cobertura pronta vista por sobre o teto



Figura 123 – Cobertura pronta

Após estas análises o grupo se questionou se deveriam ou não retirar as escoras neste momento ou após a secagem completa do barro. Por um lado, se fossem retiradas com o barro ainda úmido a cobertura poderia se acomodar conforme a secagem mas o peso seria maior devido ao peso da água. Por outro, se fosse retirada depois, haveria o risco do barro rachar com a acomodação estrutural, contudo o peso seria bem menor. Optou-se por retirar as escoras, uma a uma, com muito cuidado, observando a estrutura para avaliar possíveis danos. Na última escora a ser retirada, houve uma dificuldade maior pois ela estava enterrada no solo. Cavou-se então um buraco na lateral de um dos pés da escora e Angelo juntamente com o autor desta tese, empurraram a escora para fora da estrutura, na tentativa de retirá-la. O esforço foi tão grande e na direção oposta ao alojamento, onde a cobertura estava apoiada e presa, que foi observado que uma pequena fresta se abriu entre o alojamento e a cobertura, ocasionando queda de barro pela fresta. O grupo continuou observando o fato quando percebeu que a fresta estava aumentando e a estrutura descolando do alojamento. Foram alguns segundos para que o grupo saísse debaixo da estrutura e ela viesse ao chão por completo.



Figura 124 – Vista de fora do alojamento com a estrutura desabada



Figura 125 – Vista de dentro do alojamento com a estrutura desabada

Felizmente, nenhum membro da equipe ficou ferido no incidente mas a decepção de todos foi grande. Após analisar os motivos para que o triste incidente tenha ocorrido, o grupo concluiu que foi uma soma de fatores já mencionados anteriormente, mas que o principal e decisivo fator foi o fato de a escora ter sido empurrada com muita força na direção contrária aos apoios existentes, fazendo com que a estrutura ficasse sem equilíbrio devido à falta de apoio em uma das faces e, desta forma, desabasse.

Após análises e conclusões junto ao professor Ripper sobre o fato ocorrido, ficou claro que era necessário experimentar mais em laboratório para diminuir o risco de imprevistos durante experimentos em campo, principalmente quando estes representam perigo à integridade física de pessoas como em uma estrutura de cobertura.

O primeiro passo foi montar um parabolóide hiperbólico de bambu, de dimensões 2,5m x 2,5m, dentro do LILD, com a finalidade de testar um tipo de revestimento bem fino. Para isso a trama principal de bambu mirim recebeu ripas do mesmo bambu, que foram amarradas lado a lado na mesma direção, mantendo o espaço livre de aproximadamente 2 centímetros entre as ripas. Em seguida foram aplicados tecidos de juta impregnados por barro de 4 modos diferentes: barro puro, barro com cola PVA, barro com pouca goma de polvilho azedo e barro com muita goma de polvilho azedo.

A superfície do parabolóide foi dividida em quadrantes e em cada quadrante foi aplicada a juta impregnada por uma das misturas. O resultado imediato após a secagem e alguns dias depois parecia muito bom, apresentando a camada superior totalmente aderida às ripas e à camada inferior, que por sua vez abraçava os bambus que apoiavam as ripas. Isso ocorreu em toda a superfície independente da mistura de barro aplicada. O que foi observado de diferenças entre as misturas era que onde foi aplicada a cola PVA e o polvilho azedo a superfície não soltava pó de barro, pois parecia impermeabilizada porém com alguma maleabilidade.



Figuras 126 e 127 – Parabolóide de bambus revestido de juta e barro

Após cerca de duas semanas, com a movimentação da peça no laboratório, foi observado que a camada superior e a camada inferior da superfície haviam descolado das ripas de bambu em alguns pontos. Na tentativa de ancorar os tecidos barreados na estrutura foram feitas costuras com linha de algodão para unir novamente estas duas camadas opostas. Também foi notado que, no quadrante onde foi aplicada a mistura de barro com muita goma de polvilho azedo, a superfície apresentou rachaduras superficiais, levando à conclusão de que a camada mais superficial retraiu.



Figuras 128, 129 e 130 – Costura da superfície para evitar descolamento

Após mais alguns dias, por sugestão do Prof. Ripper, foi aberto um rasgo no tecido com a finalidade de inspecionar o quanto este revestimento estava ancorado nas ripas ou na camada oposta e o resultado foi a descoberta de mofo dentro da estrutura, na interface entre o tecido barreado e os bambus. Decidiu-se então refazer o revestimento e , assim, cada pedaço foi retirado, para que pudesse ser posteriormente limpo, hidratado e finalmente reaplicado na superfície.



Figuras 131, 132 e 133 – Descolamento do revestimento e fungos presentes nos bambus

Foram testadas diferentes configurações para a estrutura secundária de ripas, com o objetivo de verificar se a ancoragem poderia melhorar mantendo uma boa continuidade na superfície. O Prof. Luiz Vicente, do DAD, levou ao laboratório seus alunos da disciplina de estruturas de bambu para realizarem este experimento e colaborarem com o LILD e sua pesquisa. O resultado já era o esperado, pois já tinham sido realizadas tramas parecidas no sítio Abaetetuba, então ficou decidido voltar às ripas alinhadas na mesma direção.



Figuras – 134, 135 e 136 – Diferentes tramas para testar a aplicação de juta com barro

Nesta nova tentativa, além das ripas alinhadas e alternadas, também foram testadas *esterillas* de bambu em uma das partes da estrutura, que depois de pronta foi novamente revestida pelos sacos de tecido de juta impregnados por barro. A aderência do material à estrutura pareceu muito boa sobre as ripas, mas devido a descontinuidades na superfície causadas por algumas *esterillas*, o revestimento descolou em alguns pontos, apesar de ter se mostrado eficiente em manter a continuidade da superfície e em questões de acabamento nas bordas.



Figuras 137, 138 e 139 – Teste com esterilla de bambus e com ripas alternadas



Figuras 140, 141 e 142 – Revestimento da estrutura com juta impregnada com barro

Novamente analisando erros e acertos neste processo, um dos pontos que mais preocupava os pesquisadores do LILD era a falta de ancoragem do tecido de juta impregnado com barro à estrutura de bambu. Ficou decidido, junto ao Prof. Ripper, que o fibrobarro deveria ser testado neste objeto para testarmos a ancoragem dele. O mestrando Marcio Lazaroni compartilhou este experimento com o autor da tese e, após a primeira aplicação e secagem de uma fina camada de fibrobarro (aparas de grama + barro), foram observadas algumas rachaduras e pontos de descolamento do fibrobarro da estrutura. Cada uma destas partes foi marcada com giz e posteriormente reparada.



Figuras 143 e 144 – Novos testes de revestimento utilizando fibrobarro e rachaduras encontradas

O processo para realizar estes reparos consistia em: marcar com giz a região rachada ou descolada, retirar parte do material não aderido às ripas e expor fibras do fibrobarro que não desgrudou para aumentar a ancoragem do remendo. Depois, umedecer com um borrifador toda a área em torno do buraco aberto adicionando fibra de sisal e barro preparado. O uso das fibras de sisal se deu porque em toda a superfície foram utilizadas fibras curtas de aparas de grama, o que pode ter causado discontinuidades no fibrobarro em função do curto tamanho da fibra. Dessa forma, para tentar resolver este problema optou-se pelo sisal por ser uma fibra longa e resistente.



Figuras 145, 146 e 147 – Reparo no fibrobarro: identificação, retirada do material e umedecimento



Figuras 148 e 149 – Reparo no fibrobarro: colocação de fibras e fibrobarro reparado

Foram diversos pequenos e grandes reparos que tiveram de ser realizados nesta estrutura e, a cada movimentação feita no objeto, novas rachaduras e pontos de descolamento apareciam novamente e eram imediatamente refeitos. Com o objeto pronto contudo instável do ponto de vista estrutural, foi necessário parar um tempo para analisar todo o processo.



Figuras 150, 151 e 152 – Reparo realizado na lateral da estrutura

Alguns dias depois foram detectados buracos nos bambus e observados os insetos *Chlorophorus annularis*, conhecidos como “tigres do bambu”. Os bambus da estrutura primária foram atacados e estavam comprometidos, rachaduras apareceram nas primeiras movimentações da estrutura e, portanto, ficou decidido umedecer o fibrobarro para aproveitar o material e desmontar a estrutura.

Todo este processo de experimentação foi muito rico do ponto de vista da pesquisa, pois trouxe, a partir de análises e reflexões, conclusões com relação ao método e às técnicas utilizadas na produção dos experimentos.

Sobre o experimento em campo no Sitio Abaetetuba foi concluído que o estudo da forma em modelos físicos reduzidos (escala 1:25) ajudou a determinar o

formato dos módulos, mas não foi suficiente para estudo das amarrações entre os módulos e para a interface entre a cobertura e a parede já construída, por exemplo. A falta de experimentação numa escala intermediária à real ou em pequenas partes em escala real não trouxe o erro à tona no momento adequado. Em experimentos em escala arquitetônica deve existir rigor no cumprimento de princípios estruturais, como ancoragem na estrutura e no solo e revisão de cada uma das amarrações, pois esta deve ser a prioridade ao invés da finalização da construção. A pressa muitas vezes colabora para a redução no rigor durante o processo, o que pode colocar em risco a integridade da estrutura construída.

A intenção do LILD sempre é a de experimentar pouco a pouco, através de modelos reduzidos ou partes de um modelo em escala real, para ir aprendendo com os erros e acertos. O fato de importantes etapas terem sido ignoradas neste caso, colaborou para o acúmulo de falhas no experimento feito em campo.

Com relação ao objeto em si, é possível fazer observações acerca de diferentes aspectos, tais como: um parabolóide hiperbólico feito de bambus amarrados é uma forma de difícil estabilização pois espacialmente não existem triangulações na estrutura; bambus amarrados por torniquetes tendem a se deslocar, devido ao baixo atrito entre bambus quando estes estão com a amarração menos justa e estão sujeitas ao amassamento quando apertados demais; ripas alinhadas unidirecionalmente resultam numa superfície mais contínua que em outras configurações testadas e pequenos espaços entre elas permitem certa ancoragem ao fibrobarro; experimentos com o tecido de juta impregnados com barro se mostraram leves e de simples processo produtivo, porém sua ancoragem é mais difícil; o fibrobarro aplicado sobre estruturas de bambu não permite que pequenas movimentações sejam feitas no objeto, pois a casca pode rachar com facilidade.

3.2

Domo estrela como oca para o Bichinho do Mato

Este item traz o relato da construção de duas ocas feitas de estruturas de ripas de bambu amarradas numa configuração de círculos máximos conhecida como *star dome* ou domo estrela. Uma das ocas foi revestida por sacos de juta impregnada por barro e a outra foi revestida por folhas de jornal impregnadas por goma de polvilho azedo. A montagem e o revestimento das ocas foram realizados em conjunto pelas crianças e monitores do espaço, coordenados pelo autor desta tese em janeiro de 2011.

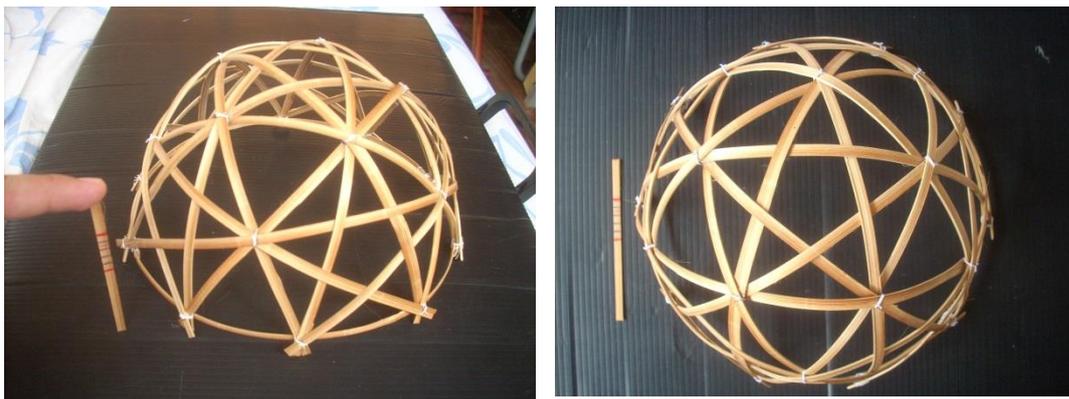
Para transferência das técnicas desenvolvidas em laboratório, o LILD tem a prática de formar parcerias com instituições e comunidades que apresentem um contexto relevante para a pesquisa nele desenvolvida. Dentre estes contextos relevantes está o espaço Bichinho do Mato, que realiza atividades de recreação aos fins de semana e colônia de férias, ambas as atividades com a intenção de promover educação ambiental e noções de sustentabilidade. Este cenário se torna relevante justamente pela possibilidade de observar uma metodologia desenvolvida em um laboratório de pós-graduação em atividades voltadas para crianças pequenas em idade para frequentar o ensino básico. Além de ter uma relação prévia com pesquisadores do LILD, que em outras ocasiões realizaram atividades diretamente relacionadas com a pesquisa do LILD tais como colheita de bambu e outras oficinas de construção, o espaço conta também com pessoas engajadas e materiais disponíveis em abundância.

Os dois estudos de caso descritos neste item ocorreram neste espaço com a mesma motivação; construir um espaço lúdico em conjunto com as crianças frequentadoras do espaço enquanto se aprende a construir.

Em novembro de 2010, foi proposto ao LILD, através do autor desta tese, o desenvolvimento de um projeto de uma “oca”, uma construção onde as crianças pudessem se abrigar, se esconder, se reunir, brincar. A partir daí iniciou-se uma busca pela forma e pelos materiais e técnicas que poderiam ser utilizados na construção desta chamada “oca”. A proposta é que esta obra fosse construída durante as duas semanas de colônia de férias, junto com os monitores e as crianças do Bichinho do Mato.

Em diversas partes do mundo, existiram e ainda existem abrigos construídos por seus habitantes, mas com uma forma peculiar que se mantém mesmo em condições climáticas extremas e mesmo sendo construídos com materiais diferentes em cada local. Essa forma, que não é gratuita e define não só a estrutura, como o conforto ambiental da moradia, é o domo geodésico ou a hemisfera. (Campos, 2009, p.34)

A partir daí foi iniciada uma busca sobre uma forma simples e diferente de construir domos geodésicos, uma especialidade do LILD. Foi encontrada uma solução que é conhecida como “domo estrela”, um domo geodésico formado por círculos máximos que pode ser facilmente construído com peças longas de material forte e flexível como o bambu. Foi construído um modelo físico reduzido com tiras bem finas de bambu para testar a resistência da forma, entender o processo de montagem e conhecer melhor a estrutura em si.



Figuras 153 e 154 - Modelo do domo estrela em perspectiva e visto de cima

Para entender melhor o conceito dos círculos máximos, é necessário saber primeiro o que é uma linha geodésica, que é o menor espaço entre dois pontos numa superfície. No caso de uma superfície curva, esta linha também será uma curva. Em se tratando de uma superfície esférica, essa linha será uma curva que faz parte de um círculo, como por exemplo a Linha do Equador ou algum meridiano que divide a Terra, que por sua vez descreve um plano que contém o centro da esfera. Esses círculos são denominados círculos máximos ou grandes círculos (Lotufo & Lopes, 1982, p.16).

Com base nestes dados foi projetado um domo estrela com um metro e meio de altura e três metros de diâmetro. Para isso seriam necessárias 17 peças de

4,71 metros de comprimento, que comporiam estes círculos máximos da estrutura primária. O material escolhido para esta função foi a ripa de bambu do tipo *Bambusa vulgaris*, facilmente encontrado localmente. Para a estrutura secundária, que faria a função de diminuir os vãos da estrutura primária, foi escolhido o bambu do tipo *Bambusa tuldooides*, também em formato de ripa e também amplamente disponível no espaço da construção. Com a finalidade de experimentar o processo de montagem e desmontagem da estrutura em ambiente controlado, a estrutura primária foi montada em um gramado plano pelo autor desta tese. Para unir as ripas de bambu foram usadas abraçadeiras de nylon e, para auxiliar a construção foi fincado um bambu na posição vertical no solo e a estrutura parcialmente montada foi amarrada ao topo deste bambu, permanecendo pendurada enquanto era amarrada à sua base.



Figuras 155 e 156 – Primeira etapas de montagem do domo estrela



Figuras 157 e 158 – Primeira etapas de montagem do domo estrela



Figuras 159 e 160 – Montagem do domo estrela



Figuras 161 e 162 – Montagem do domo estrela



Figuras 163 e 164 – Montagem do domo estrela



Figuras 165 e 166 – Final da montagem do domo estrela



A primeira estrutura, que foi montada com o auxílio de monitores e crianças, recebeu um revestimento simples e rápido utilizando folhas de jornal e goma de polvilho azedo. Numa grande panela com água foi colocado o polvilho azedo na proporção de 1 /1 misturado com água e colocado para esquentar no fogão. Quando a mistura de cor branca atinge uma consistência uniforme e fica translúcida, deve-se apagar o fogo e esfriar a mistura para sua aplicação.

Uma mesa de concreto revestida de azulejos foi o local escolhido para impregnar as folhas de jornal com a goma. Sobre a mesa foi aplicada e espalhada uma camada de goma e sobre ela colocado o jornal, que em seguida foi coberto com mais uma camada de goma. A intenção foi apenas impregnar o jornal com a goma, retirando os excessos da mistura com a mão e deixando-os na mesa para a próxima folha de jornal. Após a impregnação da goma nos dois lados da folha, o jornal foi retirado da mesa, com cuidado para não rasgar, e posicionado sobre a trama de bambus, dobrando suas bordas sobre uma ripa de bambu, quando possível, para manter o revestimento preso à trama. O processo foi repetido continuamente com camadas sobrepostas de jornal com goma até o revestimento total da estrutura que, mesmo antes de ficar pronta, já atraía as crianças que brincavam de entrar, sair e se esconder na oca.



Figuras 167 e 168 – Montagem do domo



Figuras 169 e 170 – Criança aplicando o jornal com goma



Figuras 171 e 172 - Crianças preparando e aplicando o jornal com goma



Figura 173- Criança se escondendo dentro da oca

Depois da secagem do revestimento foi possível observar que a goma provocou certa retratibilidade no jornal, fazendo com que algumas fissuras e rasgos aparecessem na superfície, que novamente foi revestida com o mesmo material, porém em direção contrária aos rasgos. Isso ocorreu porque o papel jornal possui suas fibras organizadas de modo unidirecional, fazendo com que este seja facilmente rasgável no sentido vertical e com certa dificuldade no sentido oposto.



Figura 174– Vista interna da oca de bambus revestida de jornal com goma



Figura 175 – Vista externa da oca de bambus revestida de jornal com goma

A segunda oca possui princípio estrutural idêntico ao da primeira e foi montada com facilidade, com a ajuda dos monitores e das crianças. Com as estruturas primária e secundária construídas, foi possível iniciar a etapa de barreamento da estrutura. A terra utilizada neste projeto foi coletada no próprio local através de um buraco cavado no solo. Foi separada a camada superior, rica em matéria orgânica, e utilizada apenas a terra que estava abaixo desta primeira camada. Esta foi devidamente peneirada para que fossem retiradas pequenas impurezas como pequenas pedras, galhos e folhas, e posteriormente hidratada um dia antes de ser utilizada.



Figuras 176 e 177 – Montagem da segunda oca e crianças brincando na futura janela

Para facilitar o barreamento da estrutura, feito coletivamente com monitores e crianças da colônia de férias, foram utilizados sacos de juta normalmente utilizados para o transporte de alimentos. Estes sacos foram abertos para que se transformassem em planos e pudessem ser impregnados com o barro.

A atividade foi iniciada com o pisoteio da terra já hidratada, junto com as crianças para que a massa apresentasse características uniformes como nível de hidratação, maleabilidade e pregnância ao tecido de juta. Após o pisoteio, os pedaços de tecido foram impregnados com o barro pronto e aplicados cuidadosamente sobre a estrutura de bambus e mantidos esticados através da dobragem das bordas de tecido sobre as ripas de bambu.



Figuras 178 e 179 - Pisoteio e aplicação do tecido de juta barreado



Figura 180 - Aplicação do tecido de juta barreado

Antes da aplicação das diversas camadas de juta impregnada por barro, foram determinados alguns locais na superfície da estrutura para que não fossem preenchidos, deixando espaços vazios que serviriam como portas, janelas e locais para entrada de luz. Aos poucos a superfície foi sendo preenchida e ganhando forma. Depois que a oca estava toda coberta foi observado que ainda existiam alguns pequenos pedaços na superfície da construção que ainda não estavam preenchidas, estas partes tinham formato quadrado, pois eram unidades da trama de juta que não foram impregnados e precisavam ser fechados.

Todos os dias as crianças tinham atividades programadas na colônia de férias e, no meio desta programação, tinham uma hora reservada para a atividade de construção da oca. Durante estes dias foi possível observar uma progressiva aproximação das crianças com os materiais envolvidos como o bambu e o barro, especialmente em tarefas como o pisoteio do barro, onde no primeiro dia alguns não quiseram participar por diversos motivos como não querer se sujar, ou por não gostar do barro, como afirmava uma criança mais relutante que ainda tentava convencer as outras a não participarem das atividades. Porém foi observado que a mesma criança nos outros dias de atividade não se distanciou do grupo, pelo contrário, ela ficava bem próxima desencorajando as outras e afirmando que o barro era nojento e sujo. Com o passar dos dias a mesma criança foi cedendo aos pedidos e convites de monitores e outras crianças e, no último dia, surpreendeu a todos participando do pisoteio e da aplicação das camadas de juta impregnadas com barro e, aparentemente, se divertindo bastante com as outras crianças.

Também foi observado, com outros participantes, que alguns tinham o cuidado de fazer a aplicação do tecido de juta com barro exatamente como foi ensinado, corrigindo outros participantes que tentavam fazer a mesma tarefa de outra maneira, o que poderia comprometer o resultado final da oca. Após o término do barreamento de toda a superfície da construção as crianças puderam celebrar o fim da obra dançando em volta dela, entrando e brincando no seu interior. Na semana seguinte, após a secagem do material, foi aplicada uma camada impermeabilizante de resina poliuretana de origem vegetal (resina de mamona) para que a construção tivesse uma maior vida útil, já que ficaria exposta às intempéries.



Figura 181 - Celebração de fim da obra com as crianças



Figuras 182 e 183 - Celebração de fim da obra e oca impermeabilizada

Observou-se que o método de aprendizado pela interação material se demonstra muito eficiente em contextos de aprendizado variados, tanto em público quanto em conhecimentos transmitidos. A investigação em formas espontâneas da natureza e materiais ordinários de fácil acesso ou que se apresentam disponíveis nos locais das construções traz também conteúdos e noções que ocorrem espontaneamente durante suas interações.

Alguns desses conteúdos emergem justamente nas interações interpessoais que ocorrem nas experiências de aprendizado. Isso é facilitado pela utilização de ferramentas ativadas pela energia humana que, ao contrário de máquinas elétricas, são silenciosas. Algumas noções são debatidas e confrontadas entre os participantes, e nesse debate essas noções ganham novos contornos que as redefinem.

Outra característica observada é a facilidade de assimilação por serem técnicas que não exigem conhecimentos prévios para serem aprendidas e, com isso, ocorre a tomada de responsabilidade por parte dos participantes das oficinas em relação a esses conhecimentos técnicos. Algumas pessoas com facilidade maior que outras para assimilação das técnicas, logo que entendem o procedimento técnico, passam a ensinar ou demonstrar aos outros esses procedimentos. Essas relações lado a lado evitam o ensino de bancada, onde o aprendiz não interfere no conhecimento aprendido.

Com relação ao estado da arte, o desenvolvimento do domo estrela traz para o estado da arte uma nova possibilidade de construir formas esféricas a partir das ripas de bambu e não somente a partir do colmo inteiro, trabalhando com peças trançadas e amarradas. Sua geometria também ajuda a ensinar sobre os domos geodésicos, já que cada uma das ripas de bambu da estrutura corresponde a um círculo máximo, que é a unidade básica para se chegar à geometria geodésica. E por fim, a aplicação da pesquisa envolvendo crianças no processo de construção coletiva foi muito estimulante, pois deixou no espaço um objeto do qual elas se apropriaram e afirmavam, ao levar seus pais para ver e conhecer a oca, que foram elas mesmas que a construíram.

3.3

Geodésica do Bichinho do Mato

Aqui será relatada uma experiência muito interessante que foi uma parceria entre o LILD e o Bichinho do Mato (colônia de férias para crianças) na construção de uma geodésica para o espaço, utilizando materiais e mão de obra locais, iniciada em dezembro de 2010. Um dos aspectos mais curiosos foi o modo como algumas pessoas que ajudaram a construir o objeto coletivamente o transformaram, colocando nele suas habilidades pessoais e fazendo com que o objeto arquitetônico se tornasse único.

Em meados de setembro de 2010, os responsáveis pelo Bichinho do Mato propuseram ao autor desta tese a construção de um espaço coberto, protegido da chuva e do sol, onde algumas das atividades realizadas na colônia pudessem ser realizadas, tais como: palestras, contação de histórias, oficinas de arte e artesanato, apresentações de música entre outros usos. Depois de apresentados aos responsáveis alguns projetos do LILD utilizando o domo geodésico, este foi escolhido como estrutura base para o objeto a ser desenvolvido.



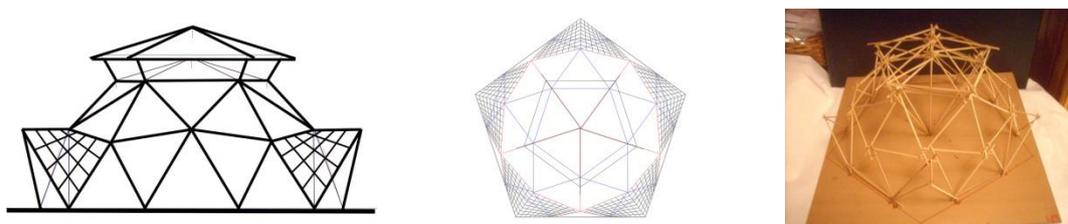
Figuras 184 e 185 – capela de Andrelândia e domo de Yvy Porã

Utilizando a capela de Andrelândia e o domo de Yvy Porã como referência, foi desenvolvido um domo de 8 metros de diâmetro com cinco entradas com beirais formados por paraboloides hiperbólicos. Assim, a planta interna entre os apoios no chão era circular (decagonal) e a planta de cobertura era pentagonal, sendo a ponta dos pentágonos as entradas no espaço. Como em Vargem Grande existe uma grande variação de temperatura durante o ano, com verões muito quentes, além de chuvas e ventos fortes em diversas épocas, foi criada uma

abertura no topo do domo com uma cobertura elevada, para que o ar quente pudesse sair por convecção e deixar o espaço interno mais agradável.

A intenção inicial seria construir a estrutura primária, o domo geodésico, a estrutura secundária, entradas com paraboloides hiperbólicos e mais a estrutura de cobertura em dois fins de semana de vivência coletiva com todos os envolvidos no Bichinho do Mato, como: coordenadores, monitores, pintores, marceneiros, pedreiros e artistas locais, bem como alguns frequentadores do local e amigos moradores do bairro.

O uso do fibrobarro aplicado sobre trama de bambus seria mais um experimento aplicado que poderia ser observado pelo LILD em contexto real de uso do objeto, trazendo informações importantes para a pesquisa deste material que seria aplicado na primeira e na segunda camadas da estrutura, deixando o topo do domo aberto para ventilação. Para a cobertura, a ideia era se valer do talento de um artista local, que trabalha com lonas plásticas esticadas sobre estrutura de bambu, para que a cobertura ficasse leve, fácil de instalar em um local alto e que também proporcionasse a interação e aprendizado entre os diversos atores locais envolvidos na obra. Havia a intenção de capacitar os pedreiros do local para que estes continuassem a obra após os dois fins de semana de vivência utilizando tudo que experimentaram e aprenderam neste curto e intenso espaço de tempo.



Figuras 186, 187 e 188 – Desenho eletrônico em vistas lateral e superior e modelo da estrutura

Os bambus escolhidos para a construção, da espécie *Bambusa tuldooides*, são muito abundantes na região e no próprio terreno da colônia de férias. Foram cortadas na lua minguante aproximadamente 100 varas maduras deste bambu com diâmetro acima de 4 centímetros, utilizando a parte basal, que tem parede mais grossa e maior diâmetro, para as 55 peças da estrutura primária, o domo geodésico.

O primeiro passo para a construção do domo foi cortar as peças em dois tamanhos determinados e fazer marcações com canetas nos pontos onde os

bambus seriam posteriormente amarrados com a utilização de torniquetes, compostos por ripas grossas de bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) e cordas de polipropileno. Com as peças prontas foi iniciada a montagem da estrutura do topo para baixo, iniciando com o pentágono do topo e erguendo a estrutura leve com as mãos para adicionar novas peças e terminar a estrutura primária.



Figuras 189, 190 e 191 – Início da montagem do domo geodésico de bambus



Figuras 192, 193 e 194 – Montagem do domo em andamento e finalizada.

O segundo passo foi adicionar à estrutura os poliedros que serviram de suporte às ripas que, entrecruzadas, formaram as superfícies dos parabolóides hiperbólicos, marcando as entradas no espaço. As ripas foram amarradas inicialmente com barbante, mas logo foi percebida a necessidade de deixar esta trama completamente travada, visto que a mesma receberia revestimento de fibrobarro e este poderia rachar com o movimento da superfície. Arames de aço foram utilizados para fixar as ripas à estrutura de bambus.



Figuras 195, 196 e 197 – Montagem dos poliedros de bambu e ripas trançadas em parabolóides



Figuras 198, 199 e 200 – Vistas internas do domo ripado e equipe participante da vivência

A partir do centro da geodésica foram colocadas grandes varas de bambu, que passavam pelas juntas em giro de cada extremidade do pentágono do topo da estrutura e formavam as bases da cobertura elevada, permitindo a ventilação do espaço construído. Estes bambus também serviram para aferição da forma, já que todas as juntas em giro do domo possuíam a mesma distância para o centro da estrutura, que corresponde ao raio da geodésica, no caso em questão, 4 metros.

Com a estrutura construída iniciou-se o processo de revestimento da estrutura com fibrobarro de sisal. O processo mostrou-se demorado e os participantes se sentiram desmotivados porque a área a ser revestida era bem grande (cerca de 100 metros quadrados) e o revestimento ainda apresentava pequenas imperfeições, problemas comuns quando se aprende a lidar com uma nova técnica que ainda não está completamente dominada pelos aprendizes.

Com o objetivo de motivar os participantes e testar outra técnica, o autor desta tese impregnou, com o barro hidratado, alguns sacos abertos e planificados de tecido de juta e aplicou, de baixo para cima, sobre a trama de ripas de bambu, com sobreposição entre eles como nas telhas de telhados. O resultado inicial pareceu bom e rápido suficiente para motivar a equipe a continuar trabalhando e até mesmo testar outras possibilidades experimentais de revestimento.



Figuras 201, 202 e 203 – Revestimento da estrutura com juta impregnada de barro

Após o fim da vivência o trabalho de revestimento teve continuidade com os pedreiros contratados do espaço, porém uma série de fatores contribuiu para uma

grande mudança nos planos iniciais de revestimento da estrutura. A ideia inicial era impermeabilizar com resina de mamona os revestimentos logo que estes estivessem secos, mas imprevistos contribuíram para as alterações observadas a seguir.

O primeiro fator predominante foram as chuvas ocorridas no mês de dezembro que contribuíram para que as superfícies fossem “lavadas” pelas águas e as jutas sobrepostas ficassem com pouquíssima argila de revestimento. Mesmo repetindo o procedimento e cobrindo algumas superfícies com lonas plásticas para evitar este problema, era difícil convencer os trabalhadores a seguir com a tarefa, pois estes não acreditavam que este método daria certo. Outro aspecto observado foi que a resina de mamona tornaria a empreitada muito cara devido ao tamanho da superfície a ser impermeabilizada.

Por sugestão de um dos pedreiros e com o aval de um dos responsáveis pelo Bichinho, foi aplicada uma camada de argamassa de cimento sobre os paraboloides de juta barreada. Entretanto, depois da primeira chuva, ficou claro que este método não funcionaria, pois a camada de cimento se descolava da camada de barro e se desprendia da superfície. A solução encontrada pelos pedreiros foi aplicar uma mistura de cimento, areia e terra diretamente sobre a trama de bambus revestida de juta. O tecido só serviu como fôrma porque evitava que o material aplicado caísse para o lado de dentro da construção e este revestimento teve que ser feito em várias camadas sobrepostas, visto que o peso da massa sobre o tecido produziu pequenas concavidades na superfície que poderiam acumular água. Para evitar este problema as camadas de sobreposição aplicadas eram alisadas a fim de evitar a formação de pequenas poças de água sobre os parabolóides.



Figuras 204, 205 e 206 – Revestimento da estrutura com argamassa de cimento

Outra mudança no planejamento foi a decisão de não utilizar a mesma técnica para revestir a segunda camada de triângulos do domo. Como o revestimento ficou muito mais espesso (3 centímetros) que o desejado (1 centímetro) e feito de outro material, foi tomada a precaução de não revestir esta parte, um pouco mais inclinada da geodésica com muito mais peso, para não sobrecarregar a estrutura. Em substituição, foram produzidos pelo artista plástico e construtor Gutto Barros, triângulos de bambus revestidos com lona plástica que foram instalados sobre a estrutura, utilizando a mesma técnica que iria ser utilizada na cobertura elevada.



Figuras 207, 208 e 209 – Paraboloides pintados e cobertura modular de lona estruturada por bambus antes e depois de instalada

Enquanto este trabalho era executado, outro artista da região, Marcus “Airbrush” Villela, pintava a parte da base da estrutura com grafismos inspirados nas cerâmicas Marajoaras. O objeto agora não era mais exatamente aquele planejado por uma única pessoa e sim fruto de uma construção coletiva, onde cada um colocava ali sua contribuição e seu toque pessoal. A pintura de Marcus mais a cobertura leve de Gutto sobre a forma geodésica modificada desenvolvida pelo LILD conferiram ao objeto um aspecto diferente dos objetos arquitetônicos aos quais as pessoas estão acostumadas, despertando a curiosidade de todos que visitavam o local.

A última etapa restante para que a construção fosse inaugurada era a cobertura composta de triângulos de lona esticada sobre moldura de bambus. Uma estrutura foi construída e reforçada com mãos francesas, que são contraventamentos que podem minimizar o risco de ruptura das peças mais alongadas, como os longos caibros e terças de bambu. Sobre estas peças foram apoiadas e amarradas as lonas já estruturadas, formando uma cobertura elevada que teria que suportar fortes chuvas e ventos. Após a instalação dos triângulos, a geodésica do Bichinho do Mato estava finalmente pronta.



Figura 210– Reforço na estrutura de cobertura



Figura 211– Reforço na estrutura de cobertura com mãos francesas



Figura 212– Detalhe da lona já instalada



Figura 213 – Vista externa da geodésica do Bichinho do Mato pronta



Figura 214 – Vista interna da estrutura em uso - Oficina de Culinária



Figura 215 – Vista interna da estrutura em uso - Oficina de Culinária



Figura 216 – Vista panorâmica do interior da estrutura

Passados dois anos da inauguração do espaço, algumas considerações podem ser feitas a respeito da interação entre as pessoas envolvidas neste experimento, os materiais envolvidos e o objeto construído.

Sobre a interação entre as pessoas é fundamental registrar que a construção do objeto foi iniciada em paralelo com outras construções convencionais no mesmo espaço e, por conta disso, em diversos momentos, alguns funcionários eram deslocados para outras funções ou substituídos por outros que não haviam participado da vivência ou de alguma parte fundamental do processo. Isto fez com que a tarefa de ensino e aprendizado das técnicas fosse repetida diversas vezes, desmotivando os que já tinham experimentado e atrasando o cronograma de execução da obra, além de comprometer a qualidade técnica do resultado final.

A falta de um responsável geral do espaço pela construção ou por coordenar os envolvidos na experiência não só atrapalhou a transferência tecnológica, ou troca convivencial, como também causou ruídos de comunicação entre a equipe de trabalhadores que ficava na dúvida sobre quem era o responsável pela condução da obra ou a quem deveriam seguir ou relatar o que foi feito, sobretudo os acertos e erros.

A mesma falta de um responsável pela obra fez com que etapas importantes de manutenção constante do experimento não fossem realizadas ou demorassem tempo demais para acontecer, gerando em alguns casos a degradação de partes da estrutura, como a simples substituição de um bambu rachado, que mesmo tendo sido avisado aos responsáveis pelo espaço, demorou cerca de quatro meses para ser feita.

Algumas técnicas utilizadas neste experimento não estão de acordo com os materiais e princípios construtivos desenvolvidos pelo LILD. Isso permitiu que soluções adaptadas e improvisadas, a partir do repertório da pessoa que estava trabalhando no local, fossem adotadas de acordo com a necessidade ou problema encontrado. Este aspecto pode ser visto como negativo se for considerado que as técnicas construtivas ensinadas nem sempre foram respeitadas, muitas vezes foram até mesmo colocadas como inúteis, alimentando pré-conceitos sobre materiais e técnicas apropriados à construção coletiva em escala humana. Por outro lado, a diversidade de saberes encontrados no local alimentaram a troca convivencial através do compartilhamento de experiências, aumentaram o repertório construtivo dos envolvidos no experimento e fizeram com que o objeto construído incorporasse características técnicas provenientes das habilidades das pessoas que colaboraram intensamente na sua construção.

Uma reflexão final sobre este experimento é o entendimento das dimensões desta construção, que demandava muitas pessoas comprometidas trabalhando dentro de um planejamento rigoroso de muitos meses e que não ocorreu plenamente. Apesar de alguns acertos durante todo o processo, este experimento trouxe muito mais aprendizado a partir dos erros ocorridos, sejam eles de planejamento ou de técnicas construtivas, e sua grande contribuição diz respeito às restrições relativas às condições para uma parceria entre o LILD e uma instituição ou grupo comunitário.



Figura 217 – Estado atual da estrutura com as adaptações realizadas



Figuras 218 e 219 – Detalhes das escoras de bambu na parte interna da estrutura

3.4

Domo curvo montado para a exposição em BH

Para a exposição *Estruturas de Bambu – Materiais não-convencionais e tecnologias sustentáveis*, ocorrido no Prédio da Reitoria da UFMG em novembro de 2011, o LILD construiu um domo geodésico feito de ripas curvas de bambu Mossô. O desenvolvimento deste objeto, seus primeiros modelos em escala reduzida e a construção deste domo em escala real em laboratório e depois para a exposição em Belo Horizonte, Minas Gerais, estarão relatados neste item.

Este trabalho de pesquisa se deu por um conjunto de oportunidades e necessidades, ocorridas por diferentes motivos, resultando num grande passo no entendimento da geometria esférica e seus aspectos construtivos em relação aos domos geodésicos feitos de bambu pelo LILD.

Durante o ano de 2011, parte do grupo de pesquisa do LILD recebeu do Prof. Ripper algumas lições sobre como desenhar uma cúpula geodésica sobre esferas sem utilizar tabelas nem réguas como instrumento de medição, utilizando apenas o compasso para determinar o encontro entre as arestas que formam os vértices deste sólido geométrico, partindo do icosaedro. Com a figura traçada sobre uma semiesfera de isopor, subdividiu-se cada aresta para obtenção dos pontos que determinam o icosaedro em sua frequência 2V, o domo geodésico mais trabalhado pelo laboratório.

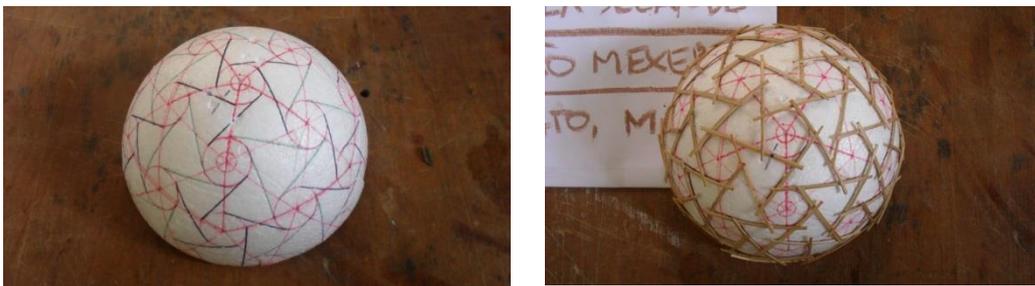
Com a geodésica traçada sobre a superfície esférica, foram traçados círculos em volta de cada vértice com a finalidade de expandir os nós e desenhar a geodésica respeitando o sistema construtivo do “giro”, vigas recíprocas de bambu apoiadas umas nas outras, também conhecido como *turning points*, desenvolvido pelo LILD. Na sequência foram traçadas linhas que passavam pelo ponto médio de cada aresta, iniciadas e terminadas na tangente dos dois círculos traçados na extremidade de cada aresta. Estas novas linhas simulavam o movimento de giro de cada aresta, no caso no sentido horário, em torno do seu ponto médio, fazendo com que o vértice, que era um ponto, se tornasse um pentágono ou um hexágono.

Com isso, na mesma superfície esférica estavam traçados o icosaedro 1V, o icosaedro 2V e icosaedro 2V em giro. Após observar o resultado, o Prof. Ripper sugeriu que fosse construído um modelo com peças curvas de fitas de bambu sobre o desenho do icosaedro 2V em giro. Foi observada que a área dos

triângulos, pentágonos e hexágonos que compõe a estrutura estava muito próxima, resultando numa estrutura bem distribuída com relação às forças atuantes sobre ela.



Figuras 220 e 221 – Meia esfera de isopor marcada e traçada em triângulos



Figuras 222 e 223 – Estrutura desenhada sobre a forma e modelo construído sobre a forma

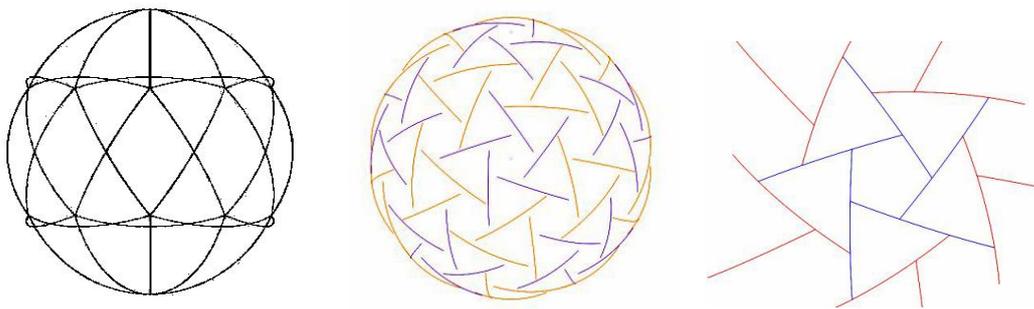


Figura 224 – Modelo retirado da forma

Durante a construção deste modelo foi notada certa dificuldade em manter a curvatura das peças, que descolavam com facilidade e não estavam amarradas. A aparência do objeto lembrava muito trabalhos de cestaria e analisando a estrutura o grupo avaliou e concluiu que o resultado poderia ser melhor se o princípio construtivo fosse alterado. Ao invés de ser montado como nos domos do LILD,

onde as extremidades dos bambus se apoiam sobre umas sobre as outras, o plano era que fosse montado como em cestos, onde as extremidades dos bambus ficassem sob as outras, mantendo sua curvatura mediante pressão e não mais mediante cola ou amarrações, que poderiam ser utilizadas para manter as peças no lugar durante o manuseio ou para evitar o efeito catapulta.

O resultado obtido foi tão interessante, que o Prof. Ripper sugeriu que fosse construído um domo de 7 metros de diâmetro para ser montado na exposição *Estruturas de Bambu – Materiais não-convencionais e tecnologias sustentáveis*, que aconteceria na UFMG. Como o modelo construído era muito pequeno e não muito preciso, o autor desta tese desenvolveu um modelo eletrônico utilizando o software Rhinoceros 3.0, com a finalidade de determinar o tamanho aproximado das peças e a distância aproximada entre as marcações que serviriam de base para a construção. A decisão de utilizar valores aproximados e não exatos se deu porque além de não haver tempo suficiente para chegar a estes números, os valores aproximados eram suficientes para a construção do objeto.



Figuras 225, 226 e 227 – Modelos eletrônicos para determinar as distâncias entre amarrações

Determinados os tamanhos aproximados das peças, um grupo de trabalho foi organizado no laboratório onde participaram pesquisadores graduandos, mestrands e doutorandos, além de voluntários e do técnico laboratorista Manoel Mariano. Colmos de bambu Mossô foram transformados em ripas com o auxílio de uma faca radial e posteriormente foram marcados com caneta permanente os pontos de encontro entre bambus. Paralelamente a este trabalho era desenvolvido um outro modelo físico reduzido, em escala um pouco maior que o anterior, porém respeitando o aspecto construtivo inspirado na cestaria e montado sem suporte de uma calota de isopor, utilizando os valores numéricos descobertos através do modelo eletrônico. Diferente do primeiro modelo, o segundo não era uma meia esfera e sim uma esfera completa.



Figuras 228 e 229 – Início da construção do novo modelo sem o auxílio de formas



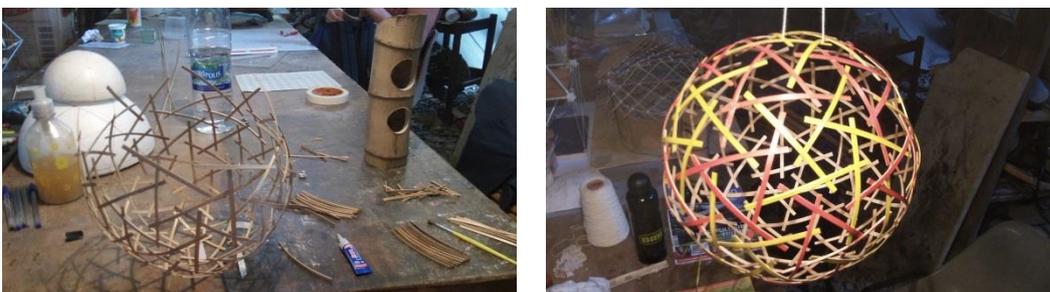
Figuras 230 e 231 – Construção do novo modelo sem o auxílio de formas



Figuras 232 e 234 – Modelo de domo pronto



Figuras 235 e 236 – Continuação da trama para gerar esfera



Figuras 237 e 238 – Mesa de trabalho com o objeto em construção e os materiais disponíveis e esfera pronta e com sua peças pintadas

Com as peças e o novo modelo prontos, foram iniciados os trabalhos de montagem da estrutura em local amplo e plano, bem próximo ao laboratório, o campo de futebol da PUC-Rio. Por sugestão do Prof. Ripper, após o primeiro módulo (estrela pentagonal) ter sido montado no chão, foram adicionados pesos de tijolos nas extremidades da estrutura e esta foi pendurada, para que, com o peso nas extremidades as ripas de bambu começassem a curvar, dando forma à estrutura e facilitando o trabalho de montagem do grupo neste primeiro momento. Conforme o grupo adicionava mais peças à estrutura, os pesos iam se tornando desnecessários e a estrutura crescia e era erguida um pouco mais, até utilizarmos um grande tripé como apoio. Terminada a montagem da estrutura base, o domo foi desmontado para ser montado por completo em outro local, pois estava atrapalhando a circulação de carros próximo ao laboratório.



Figuras 239, 240 e 241 – Início de montagem do domo curvo utilizando pesos nas extremidades



Figuras 242, 243 e 244 – Domo pendurado por cordas e apoiado em tripés de bambu

No início do mês de novembro de 2011 a estrutura foi montada no subsolo do futuro prédio da Petrobrás, próximo ao estacionamento da PUC-Rio. O grupo de trabalho se dividiu em turnos e o domo curvo de ripas de bambu Mossô foi totalmente montado em uma semana. O grupo era composto por Vicente Jesus, Tiago de Paula, Márcio Lazaroni, Roberto Takao, Marcelo Fonseca (mestrandos), Daniel Malaguti e Walter Teixeira (doutorandos), Mariana Malaguti, Luiz Salgueiro, Michele Nojima (graduanda) e Manoel Mariano (técnico do laboratório). Para amarrar as ripas de bambu foram utilizados torniquetes compostos de cordas de polipropileno e pedaços de madeira e, para auxiliar a montagem, a estrutura foi erguida, ora por uma escada, ora por tripés de bambu.



Figuras 245 e 246 – Início da montagem do protótipo



Figuras 247 e 248 – Uso de escada para elevar a estrutura e continuar a montagem

Após a montagem da estrutura base, o grupo iniciou o adensamento da estrutura, colocando nos dois lados de cada ripa já amarrada duas outras, uma de cada lado, somente sob pressão, sem a necessidade de amarrar. Conforme as peças eram adicionadas, a estrutura ficava mais visível, mais resistente e com suas tensões melhor distribuídas, pois uma ripa mais forte compensava uma mais fraca e vice-versa.



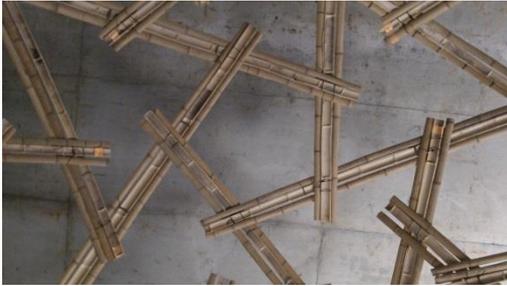
Figuras 249 e 250 – Estrutura primária pronta e adensamento da estrutura iniciado pelo topo



Figuras 250 e 251 – Adensamento da estrutura em processo



Figuras 252 e 253 – Últimas etapas de adensamento da estrutura



Figuras 254 e 255 – Detalhe do topo visto de baixo e adensamento pronto



Figura 256 – Arqueamento das peças da base

Na base da estrutura foi detectado um problema devido ao fato de as ripas de bambu que compõem o cinturão, o qual determina o hemisfério do domo, não terem onde se apoiar para curvar em uma de suas extremidades, fazendo com que a base do domo ficasse mais aberta do que o previsto. O problema foi solucionado adicionando uma corda e uma flecha a cada uma dessas 10 ripas da base e fazendo com que elas se arqueassem como num berimbau ou num arco e flecha.



Figuras 257 e 258 – Detalhes do arqueamento das peças da base utilizando cordas e flechas



Figuras 259 e 260 – Detalhes internos da estrutura e modelo reduzido junto ao objeto real



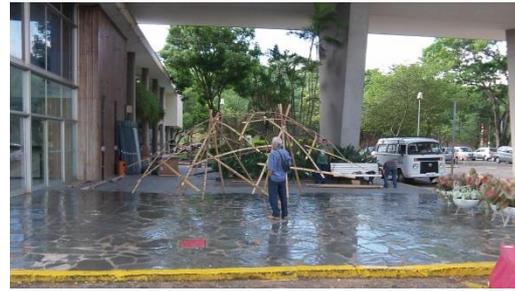
Figura 261 – Protótipo montado com as peças da base arqueadas

Terminada a construção completa do domo, o grupo desmontou a estrutura e embalou as peças, para que estas fossem enviadas para a UFMG. Uma equipe composta pelo Prof. Ripper e mais quatro pesquisadores foi enviada a Belo Horizonte para montar a estrutura próximo ao Prédio da Reitoria. Apesar das intempéries atrapalharem o processo de montagem, este foi concluído em apenas dois dias. O domo foi montado em sua estrutura base no primeiro dia e no segundo foi transportado por 5 pessoas e adensado com a dupla de ripas ao lado de cada uma da estrutura primária. As ripas da base também foram arqueadas com

cordas de polipropileno e flechas de bambu, como havia sido feito anteriormente na PUC-Rio.



Figuras 262 e 263 – Etapas de montagem do domo curvo no Prédio da Reitoria da UFMG



Figuras 264 e 265 – Uso de tripés para erguer o domo e movimentação para escapar das chuvas



Figuras 266 e 267 – Continuação da montagem do domo curvo



Figuras 268 e 269 – Estrutura primária totalmente pronta



Figuras 270 e 271 – Estrutura do domo antes e depois do adensamento da estrutura



Figura 272 – Estrutura pronta em frente ao Prédio da Reitoria da UFMG



Figura 273 – Equipe de montagem da estrutura



Figura 274 – Domo em frente ao prédio da Reitoria da UFMG



Figura 275 – Vista panorâmica interna da estrutura

Alguns aspectos relevantes podem ser analisados quanto ao processo de desenvolvimento, processo de fabricação, montagem e desmontagem deste domo, materiais utilizados e a contribuição que esta experiência trouxe para a pesquisa aplicada do LILD sobre os domos geodésicos.

O tempo de desenvolvimento do objeto até o objeto exposto em Belo Horizonte foi muito curto, cerca de dois meses, provocando uma movimentação

intensa no laboratório, que envolveu estudantes da graduação e da pós-graduação, além de voluntários. Mesmo com curto tempo de desenvolvimento, não foi deixado de lado o método de pesquisa e desenvolvimento através de modelos físicos reduzidos, o que auxiliou nos aspectos construtivos da estrutura, aliado aos modelos eletrônicos que forneceram dados mais precisos, apesar de aproximados, sobre a geometria do objeto. A construção de um protótipo submetido ao meio físico também foi realizada em dois momentos antes de sua montagem na exposição para interação com o público.

A pré-fabricação das peças demorou muito mais do que a montagem do objeto. A transformação de colmos de bambu Mossô em ripas se mostrou trabalhosa, repetitiva e cansativa, e a quantidade de peças necessárias era grande pois o objeto demandava 65 ripas para a estrutura primária e 130 para o adensamento do domo, totalizando 195 peças para a montagem do objeto. Obviamente, foram produzidas peças sobressalentes, caso ocorressem quaisquer imprevistos durante as etapas de transporte, montagem e desmontagem das mesmas.

A experiência de montar e desmontar a estrutura antes da exposição em dois locais diferentes trouxe segurança ao grupo e isso refletiu no tempo de montagem do domo na UFMG, que foi realizada por quatro pesquisadores em apenas dois dias, com chuva fina e vento, condições que ainda não haviam sido enfrentadas.

Construir com ripas de bambu também ampliou a possibilidade de trabalhar com bambus já rachados ou até mesmo tortos ou, como no caso em questão, com colmos infestados com a larva de um inseto que se alimenta das paredes do vegetal. O prof. Ripper uniu a necessidade de abrir os bambus para verificar como estavam por dentro à possibilidade de fazer um domo de ripas. Agora é possível expandir o repertório de materiais utilizados, que podem ser feixes de bambus mais finos, ripas de madeira ou até mesmo outros materiais disponíveis.

A experiência de desenvolver um outro tipo de domo trouxe para o laboratório maior entendimento da geometria esférica, além de ter gerado outro princípio construtivo de domos geodésicos diferente dos anteriores. A nova unidade de jogo, a ripa curvada, permite o desenvolvimento de outros domos curvos (ou outras unidades de jogo) e representa um novo passo na pesquisa sobre geodésicas, nem melhor, nem pior, mas outra possibilidade construtiva, visto que jamais seria possível chegar a este domo sem antes dominar o domo de juntas

pontuais, o domo tensegrity e o domo de peças recíprocas em “giro”. Esta contribuição deixa um legado para o LILD, ampliando o repertório de formas e métodos construtivos para este tipo de estrutura de cobertura.

Passados seis meses, o autor desta tese iniciou um estudo mais preciso sobre a geometrização do domo curvo e conseguiu chegar aos índices necessários à construção de um domo geodésico icosaedro 2V (frequência 2) a partir de um raio dado. O experimento a seguir demonstra o processo de montagem de uma esfera de 60 centímetros de diâmetro, feita de ripas de madeira de 1 milímetro de espessura, travadas entre si por palitos de dente de bambu. Doze partes iguais desta esfera foram montadas separadamente para facilitar a montagem da bola.



Figuras 276, 277 e 278 – Módulos organizados para montagem, detalhe de um e dois módulos



Figuras 279, 280 e 281 – Três, quatro e cinco módulos encaixados



Figuras 282, 283 e 284 – Seis módulos e a meia esfera e continuação até quase fechar a esfera

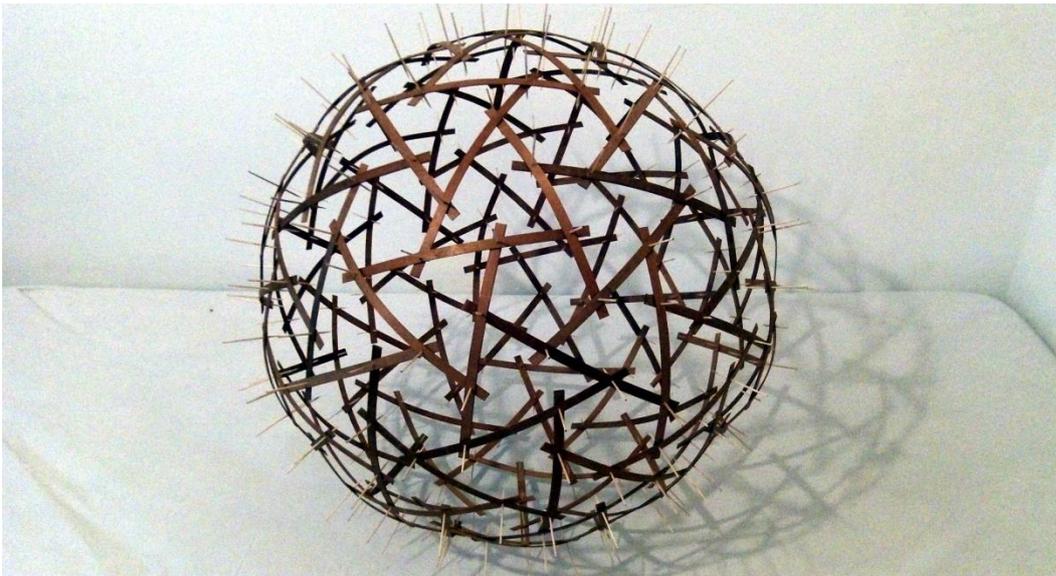


Figura 285 – Esfera composta de peças curvas de madeira pronta

A descoberta dos índices necessários à construção desta geodésica ocorreu depois de muitos modelos físicos reduzidos e eletrônicos aliados a cálculos matemáticos gerados a partir de fórmulas geométricas. Tal estudo pode ser aprofundado e gerar tabelas de índices para que se construam domos originados não somente de icosaedros mas também de tetraedros e octaedros, a partir apenas do diâmetro ou raio desejado para a estrutura. Na figura abaixo, é possível observar duas páginas do rascunho original do desenvolvimento destes índices.

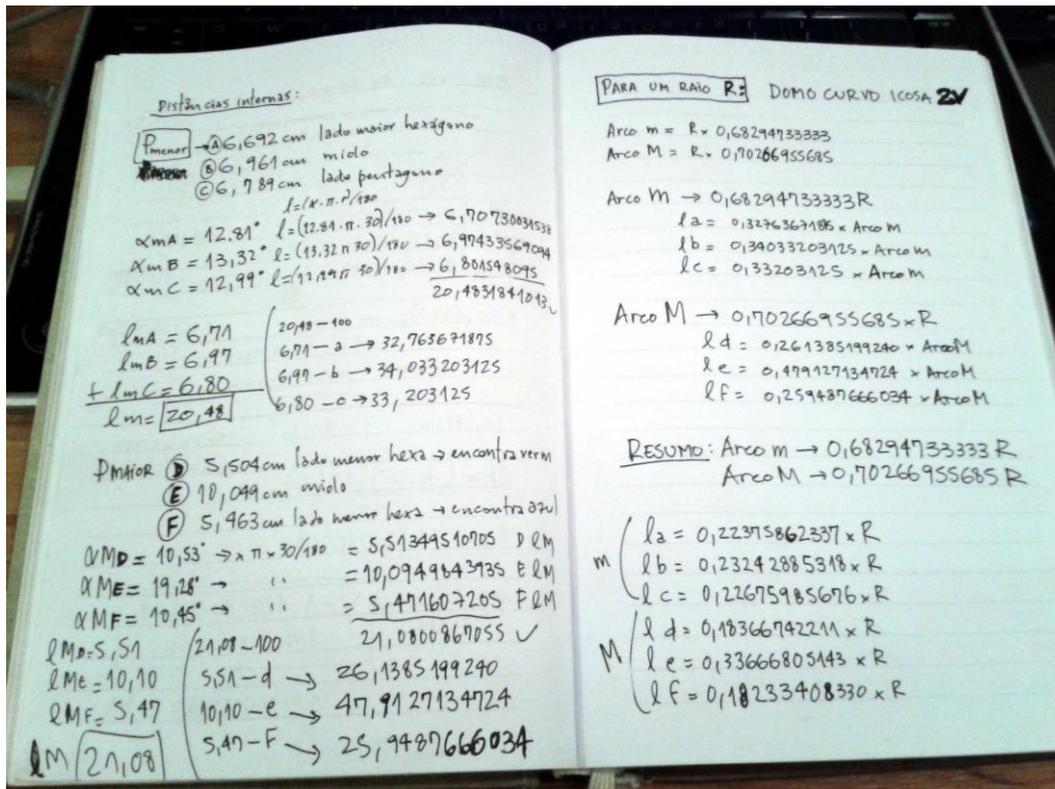


Figura 286 – Desenvolvimento da geometria para chegar aos índices em rascunho no caderno

Em 1981, o Livro Geodésicas e Cia, de Vitor Lotufo e João Marcos de Almeida Lopes (Lotufo & Lopes, 1982, p.30), apresentava os índices para a construção de domos e iniciou um processo de democratização das geodésicas, já que seus índices haviam sido patenteados por Buckminster Fuller nos Estados Unidos algumas décadas antes e não tinham sido divulgados até então. A partir da publicação deste livro houve uma proliferação no número de estruturas geodésicas construídas no Brasil, permitindo que engenheiros, arquitetos, designers, matemáticos, físicos e outros entusiastas pudessem ter autonomia para tentar construir seus domos. O mesmo fenômeno poderia ocorrer com o desdobramento deste estudo sobre a geometrização do domo curvo e a geração e divulgação de uma tabela com seus índices, num momento futuro.

3.5

Domo esférico como núcleo estrutural para abrigo no Chile

Após voltar de uma viagem ao Chile para visitar a Escuela de Arquitectura y Diseño de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, o Prof. Ripper trouxe a ideia de desenvolver um abrigo, em parceria com estudantes de lá, utilizando uma espécie de bambu típica das zonas úmidas dos bosques temperados de Valparaíso e Viña del Mar, o coligüe. Este bambu, que tem como nome científico *Chusquea culeou*, é também conhecido como colihue, quila, caña colihue ou simplesmente caña, e tem como sua principal característica ser sólido, diferente da maioria dos bambus que é oca, e também por ser muito resistente.

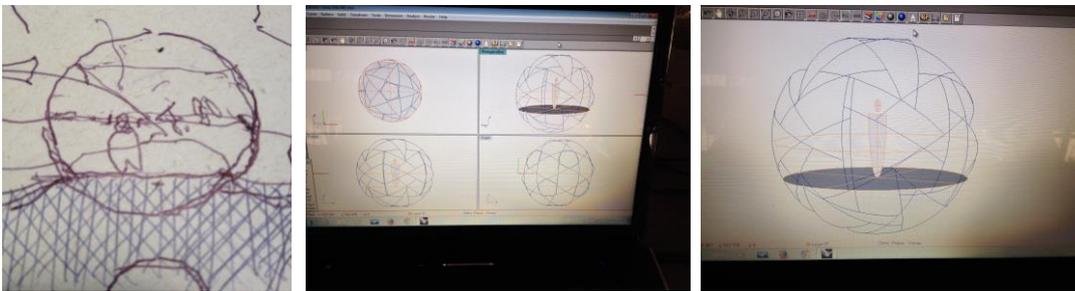
A primeira ideia era desenvolver uma habitação simples, um abrigo, de planta pentagonal e formato de icosaedro, utilizando os coligües como estrutura primária e realizando os fechamentos laterais com uma treliça pantográfica de bambus revestida de fibrobarro e, para o teto, uma camada fina de fibrobarro, já que em Viña del Mar quase não chove e a região sofre de abalos sísmicos com frequência. A camada fina de fibrobarro no teto teria como objetivo minimizar os danos aos moradores do abrigo em caso de tremores de terra, pois suas partes finas e leves não machucariam o usuário em caso de quebra e possível queda.



Figuras 287 e 288 – Primeiras ideias desenhadas pelo prof. Ripper para o abrigo

Amadurecendo a ideia através de desenhos e questionamentos sobre a forma, surgiu a possibilidade de unir a este projeto o estudo sobre a geometria dos domos curvos. Ripper sugeriu, então a forma esférica para o abrigo, que seria um

dos desdobramentos da pesquisa com domos feitas de peças curvas, neste caso específico os colígues, que deveriam ser previamente curvados por calor, formando um icosaedro de segmentos curvos. As especificações básicas de dimensionamento do espaço físico foram dadas pelas próprias características do bambu chileno disponível, que seriam peças de no máximo 3 metros de comprimento e de 2,5 a 3 centímetros aproximadamente de diâmetro. A partir destes dados iniciou-se a modelagem tridimensional eletrônica da geometria básica do icosaedro de segmentos curvos para posteriormente chegar aos índices para cálculo de tamanho de cada peça da estrutura e quais as distâncias entre os pontos onde uma peça seria amarrada à outra.



Figuras 289, 290 e 291– Rascunho do prof. Ripper com a segunda ideia e modelagem 3D

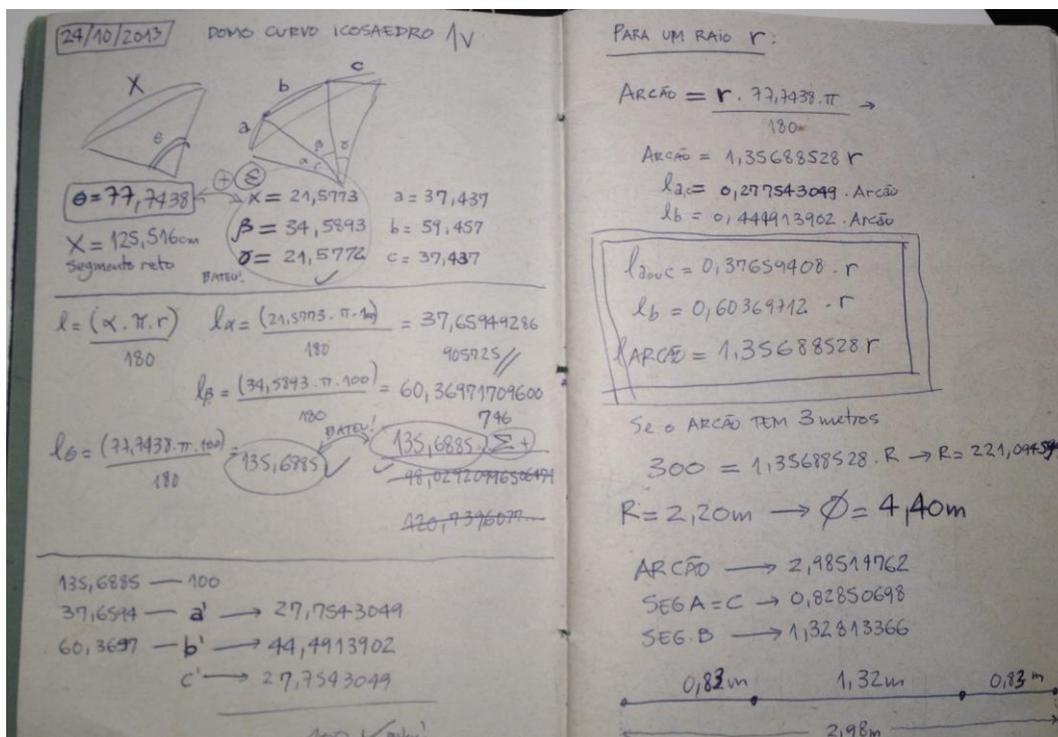
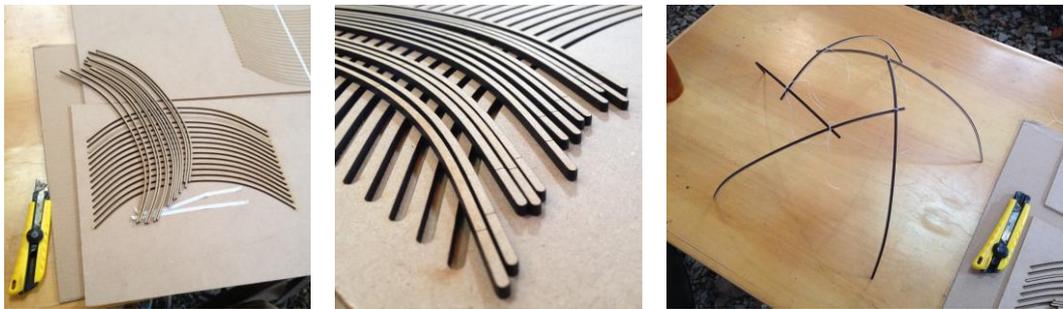


Figura 292 – Cálculos da geometrização do icosaedro de segmentos curvos

Com a etapa de geometrização realizada foi planejada a construção de um modelo físico que, para trazer resultados mais satisfatórios, deveria ser composto de 30

peças idênticas e muito precisas. O objetivo era checar se as medidas projetadas conferiam com o modelo físico e se a geometrização estava correta. E também verificar a proporção entre os vazios triangulares e pentagonais, além da possibilidade de visualizar, manipular a estrutura e se apropriar da forma e do seu comportamento estrutural através da convivência com o objeto, imaginando sua montagem e aprendendo com a forma. Para isso tais peças foram desenhadas em software CAD e posteriormente cortadas à laser em chapa de MDF de 3mm.

Apesar de cada peça ter o perfil quadrado (3x3mm) diferente do que seriam as peças reais de bambu (perfil redondo 3mm), o modelo deveria ser preciso em suas medidas e foi confeccionado em escala 1/10. Depois de cortadas, as peças foram destacadas do resto da chapa e amarradas nos locais já designados com linha de algodão.



Figuras 293, 294 e 295– Chapa de MDF com peças recortadas e início da montagem do modelo



Figuras 296, 297 e 298– Etapas de montagem do modelo e detalhe das amarrações



Figura 299 e 300 – Modelo montado utilizando a mão como referência de escala e modelo montado

O resultado foi o esperado, um icosaedro esférico perfeito, onde foi checado e confirmado o diâmetro projetado de 44cm, que representava 4,40 metros no abrigo a ser construído em escala real.

As análises sobre o objeto pronto levaram à conclusão de que era necessário construir um novo modelo em escala maior e feito de peças de bambu curvadas pelo calor, onde a precisão no encurvamento dos bambus e a maleabilidade do material poderiam trazer resultados mais precisos e mais próximos à realidade.

Para o novo experimento foi decidido que seria confeccionado na escala 1/5, o dobro do tamanho do anterior e, para isso, foi montado um gabarito para curvar cada uma das peças de bambu. Em uma chapa de MDF de 2cm foi traçada a curva desejada, que é um segmento de círculo, e foram colocados pregos ao longo desta curva.

O processo de encurvamento dos bambus se dava do seguinte modo: uma extremidade da peça reta, já cortada nas dimensões projetadas, era colocada entre os dois pregos do início do gabarito e, a partir do calor fornecido por um soprador térmico, que deixa o bambu mais maleável, e da pressão exercida com a mão na outra extremidade do bambu na direção do gabarito, a peça ia aos poucos sendo arqueada.

Logo no início deste processo foi possível observar que para que o bambu permanecesse com a curvatura desejada, o gabarito deveria ter uma curva mais acentuada nas suas extremidades, pois era necessário curvar o bambu um pouco mais do que o desejado para que ele ficasse com sua curvatura estabilizada na

posição desejada. Por este motivo foram feitas alterações no gabarito, o que possibilitou a obtenção de peças de bambu com curvaturas precisas.

O processo de encurvamento destas peças foi um aprendizado por si só. O ato de aquecer uma vara de bambu até que ela atinja comportamento plástico para admitir uma deformação permanente é um exercício de experimentação muito rico e que traz aprendizado a partir do processo de tentativa e erro. Se a peça não for aquecida suficientemente ou de maneira uniforme, a pressão exercida sobre a vara em direção ao gabarito, a fim de tornar a vara reta um arco, pode causar a ruptura da mesma. Por outro lado, se a peça for superaquecida em alguma parte, isso pode provocar ressecamento, fragilização e ruptura da vara.

Este aprendizado, a partir do processo de aquecimento e arqueamento para modificar a forma da vara, foi muito rico de informações sobre o comportamento do bambu nestas condições. A convivência com o material, a negociação para atingir a curva sem perder a peça por ruptura e a vontade de curvar as varas com rapidez para montar logo o objeto demonstraram que para se trabalhar com este processo e com este material é necessário ter paciência e rigor para garantir as propriedades estruturais do bambu e as características de dimensionamento e forma desejadas.

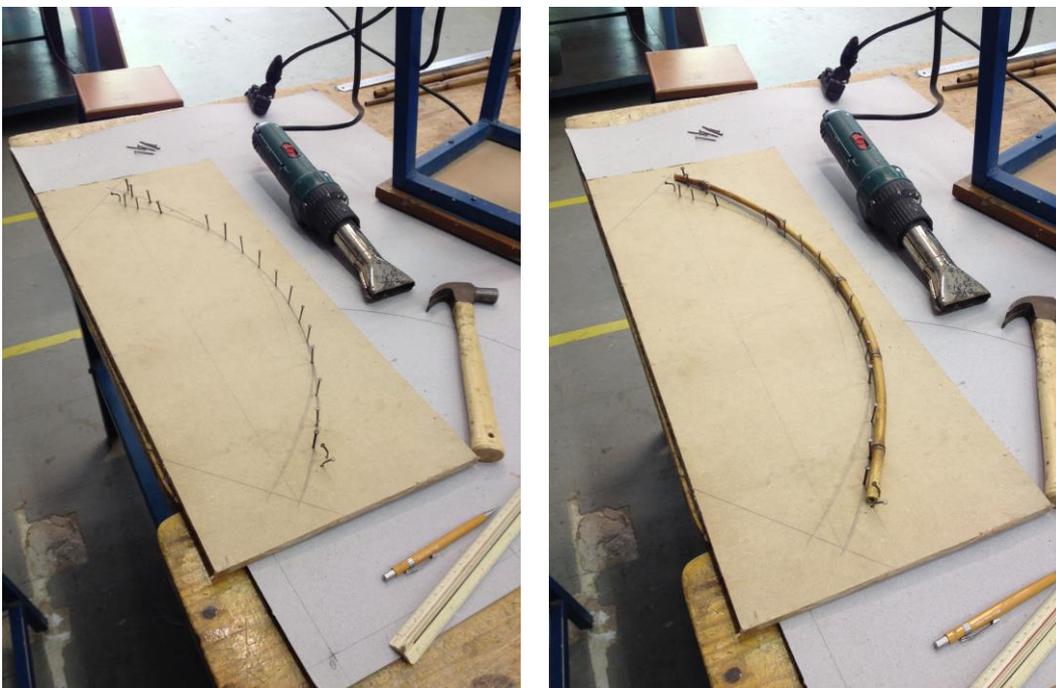


Figura 301 e 302 – Gabarito de MDF com pregos para encurvamento das varas



Figura 303 e 304 – Mesa utilizada para o processo de encurvamento e os 30 bambus já curvados

Cada uma das 30 peças de bambu foi marcada precisamente nos 4 pontos onde serão amarradas às outras e, uma linha de algodão de aproximadamente 1mm de diâmetro (linha Urso 00) foi utilizada para realizar esta amarração.

A montagem foi iniciada pela figura pentagonal formada pela união de cinco varas, correspondente ao truncamento do vértice do icosaedro. Apesar da experiência do autor em confeccionar modelos de icosaedros regulares de peças coladas ou amarradas ou até mesmo tensionadas como no icosaedro tensegrity, aqui o comportamento das peças curvas durante a montagem foi bem diferente, pois o centro de gravidade da peça foi deslocado pelo arqueamento.

No início da montagem foi necessário apoiar as partes já amarradas num suporte (figura 302) para adicionar peças que iam ficando penduradas por amarração a estrutura e só adquiriam certa estabilidade depois de amarradas em 3 pontos diferentes (figura 303) e total estabilidade somente quando amarradas em seus 4 pontos. (figura 304)

Apesar do início dificultado pela instabilidade de partes da estrutura já montada, o resto do processo foi mais fácil porque a estrutura foi adquirindo aos poucos sua forma desejada, onde a precisão das peças previamente encurvadas foi fundamental para facilitar a montagem sem esforços para que cada peça parasse na posição desejada para receber a amarração.



Figura 305 e 306 – Início da montagem da estrutura apoiada num suporte e apoiada no chão

Outro aspecto interessante do objeto em construção foi seu tamanho, sua escala, pois apesar de ser um objeto grande, de 88cm de diâmetro, ele ficou leve e em proporções que não dificultavam seu manuseio nem para realizar a montagem e nem para transportá-lo.

Depois de montado, também foi curioso perceber a surpresa das pessoas ao ver o objeto pronto, pois eles estavam trabalhando no laboratório e acompanharam o processo de encurvamento das varas de bambu, que durou uns três dias, e depois viram o objeto ser montado em poucas horas e com tanta precisão que quase não acreditaram que aquele objeto tinha sido montado naquele local. A impressão que tiveram foi que a rapidez na montagem não poderia resultar numa estrutura tão precisa, pois aparentemente a forma era perfeitamente esférica. (figura 305)



Figura 307 e 308 – Estrutura quase montada e completamente montada sobre a mesa

Posteriormente foram realizadas pelo autor e pelo orientador desta tese algumas análises sobre o objeto construído (figura 306), no que diz respeito à interação deste objeto quando movimentado sobre diferentes superfícies, sua acomodação na areia, resistência do sistema estrutural e dimensionamento das peças.

O comportamento observado do objeto quando rolado sobre uma superfície foi bem interessante se compararmos ao comportamento esperado de uma esfera perfeita ou de uma pedra com formato quase esférico, porém com muitas irregularidades na superfície. Foi notado que ao rolar o objeto sobre superfície levemente inclinada, ele tem trajetória incerta devido ao fato de não possuir toda a superfície esférica preenchida, ou seja, seu comportamento é irregular pois ora a esfera rola como uma superfície esférica e ora como uma superfície irregular, como uma pedra.

Também foi testada a interação do objeto com a areia com a finalidade de obter dados mais próximos à realidade do deserto chileno. Mesmo sabendo das diferentes características tanto do bambu quanto da areia utilizada, bem como da escala do objeto, foi importante observar que o icosaedro curvo se acomodou bem na areia, já que a ideia inicial seria enterrar parte da estrutura do abrigo no solo do deserto de Viña del Mar.

A resistência do sistema estrutural também foi analisada qualitativamente ao aplicarmos carga em algum ponto específico da estrutura. O resultado observado foi uma distribuição imediata da carga aplicada em uma peça para as quatro outras peças adjacentes às quais ela estava amarrada e de cada uma das quatro peças adjacentes para cada uma das quatro peças ligadas a elas e assim por diante, resultando num comportamento exponencial para distribuição de cargas na estrutura, o que pode ser muito bom para a absorção de abalos sísmicos.

Apesar dos resultados indicarem que o sistema estrutural do icosaedro esférico de segmentos curvos amarrados parecia satisfatório para montarmos um modelo em escala real, o Prof. Ripper sugeriu que fosse explorado outro sistema estrutural para a mesma geometria: o tensegrity. Mas para evitar ter muito trabalho num objeto cujo sistema estrutural ainda não havia sido testado no LILD (tensegrity de segmentos curvos), ele sugeriu que primeiramente fosse construído um tetraedro.



Figura 309 – Prof. Ripper analisa o rolar da estrutura no chão

Para construir o modelo foi utilizado o mesmo gabarito do modelo anterior, pois o diâmetro desejado era o mesmo, porém utilizando bambus de maior comprimento. Depois de arqueados com o uso de soprador térmico, cada uma das quatro peças recebeu uma corda de nylon, resultando em quatro unidades compostas de um bambu arqueado e um fio de nylon que unia suas duas extremidades.

A montagem foi reativamente simples devido ao número reduzido de peças mas cada arco de bambu, após ter suas cordas presas às extremidades de outros arcos, ficou instável, visto que tais partes estavam presas linearmente, tornando-se eixos de rotação para os arcos.

Para resolver este problema, cada uma das cordas foi amarrada na metade de seu comprimento ao meio do arco ao qual fazia parte, estabilizando cada unidade composta (arco + corda) e, conseqüentemente, todo o conjunto.



Figuras 310 e 311 – Tetraedro tensegrity de segmentos curvos

Após mais um resultado satisfatório, foi iniciada a construção do icosaedro tensegrity de segmentos curvos. O processo foi idêntico ao do tetraedro mas com as peças de tamanho menor, idênticas ao icosaedro amarrado.

Depois curvar os bambus e montar os 30 arcos com suas devidas cordas (figura 309), a estrutura começou a ser montada sobre uma esfera de pilates (figura 310) com o objetivo de facilitar o processo bem como auxiliar no encurvamento do conjunto. Esta montagem foi mais difícil, pois os elementos são tensionados e oferecem resistência ao serem amarrados.



Figuras 312 e 313 – Unidades compostas (arcos e cordas) prontas e início da montagem sobre esfera

Depois de montada a estrutura foi feita uma análise comparativa entre o icosaedro amarrado e o auto tensionado e as conclusões foram as seguintes:

No modelo amarrado a precisão é muito maior, pois cada uma das peças de bambu curvado faz parte da superfície esférica enquanto no modelo tensegrity estas peças são deformadas pelo tensionamento, fazendo com que suas extremidades fiquem para dentro da esfera e seu ponto médio fora da esfera. O resultado aparente é de uma forma quase esférica, mas com certas irregularidades, como se cada um dos bambus fizesse um calombo na parte externa da estrutura.



Figura 314 – Icosaedro tensegrity de segmentos curvos

Outro aspecto diz respeito ao equilíbrio estrutural entre as peças pois no modelo tensegrity cada bambu arqueado responde diferentemente ao esforço de tensionamento, fazendo com que cada peça fique com curvatura diferente da outra, fator que influencia a forma e o comportamento estrutural do conjunto. Ou seja, no modelo amarrado além da superfície ser mais homogênea, onde cada bambu curvado possui a mesma curvatura da esfera, o equilíbrio estrutural entre as peças é maior, porque mesmo sobre pressão a estrutura distribui a carga melhor que no modelo tensionado.

A experiência do LILD com estruturas tensionadas é muito relevante, mas os experimentos com estruturas de cobertura tensegrity realizados em escala real e colocados em uso por um longo tempo ainda não geraram resultados tão

satisfatórios quanto os experimentos com estruturas de cobertura com peças amarradas. Estes sim, já amplamente desenvolvidos, aplicados, divulgados e ensinados pelos atuais e antigos membros deste laboratório estão num estágio de desenvolvimento avançado e, por este motivo, este é um aspecto técnico que deve ser considerado.

Após a decisão de seguir a pesquisa pelo sistema estrutural amarrado, os próximos passos seriam estudar o adensamento da estrutura para que ela não tivesse grandes vãos e sistematizar como as mantas de fibrobarro pousariam sobre esta estrutura.

Por sugestão do Prof. Ripper foi iniciado um estudo de calotas esféricas baseado na geometria do icosaedro truncado (bola de futebol), formado de 12 pentágonos e 20 hexágonos.(figura 312)

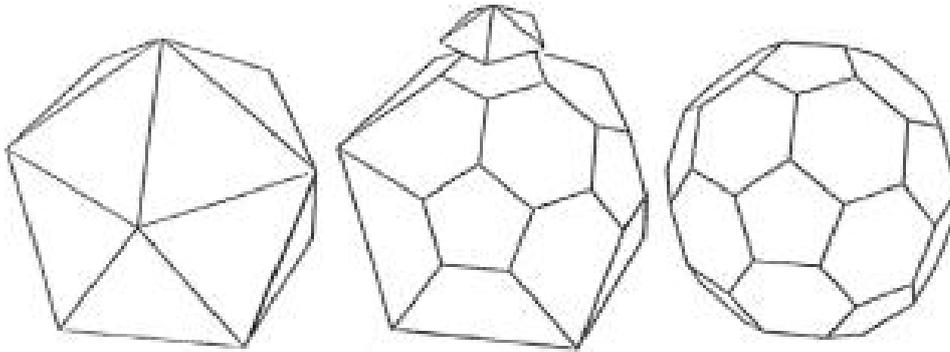
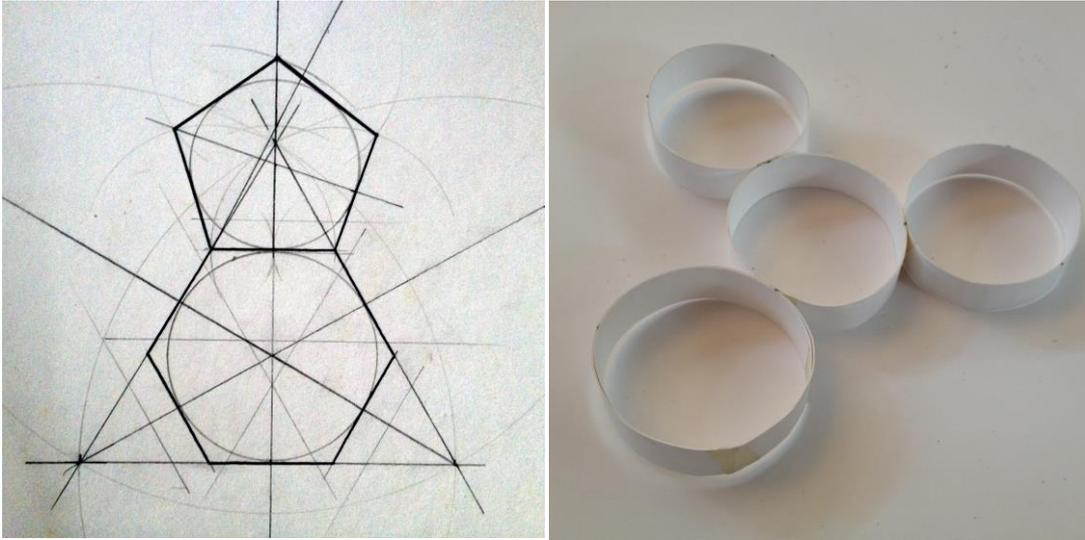


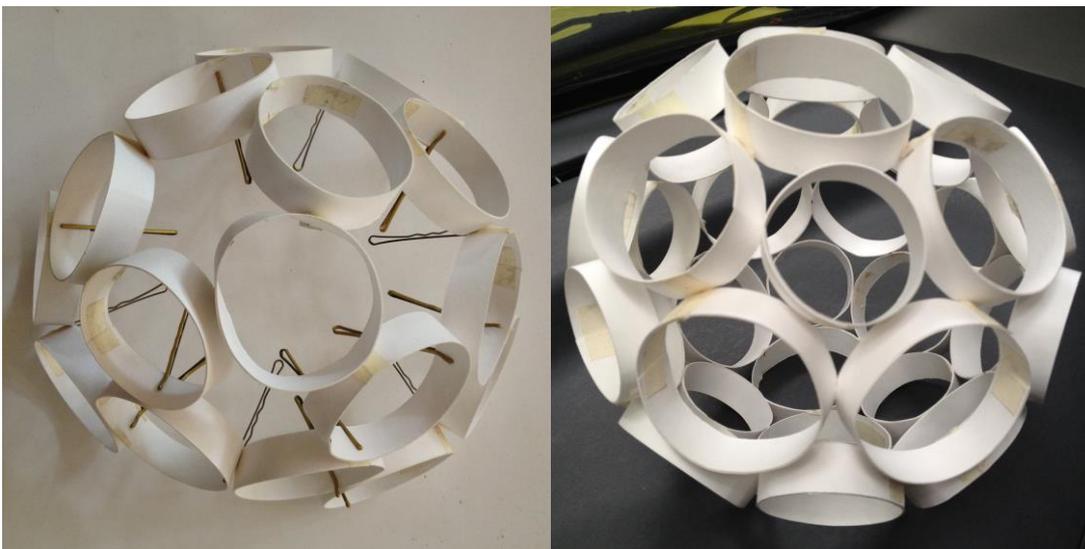
Figura 315 – Transformação do icosaedro regular em truncado

A partir dos círculos inscritos nestas figuras geométricas (figura 313) foram estabelecidos os dois diferentes diâmetros das calotas a serem feitas em fibrobarro e, para testar se a geometrização estava correta, foi construído um novo modelo feito de 12 aros menores e 20 maiores, feitos de tiras de papel, correspondentes aos círculos inscritos no pentágono e no hexágono do icosaedro truncado.(figura 314)



Figuras 316 e 317 – Círculos inscritos nos pentágonos e hexágonos e início da construção do modelo

Primeiramente foram montados todos os aros e a esfera foi confeccionada primeiramente com os 20 aros maiores (figura 315). Depois foram adicionados os aros menores que deram mais rigidez à estrutura (figura 316).



Figuras 318 e 319 – Modelo montado com os aros maiores e depois complementado com os menores

Com todos estes estudos e modelos físicos construídos, o resultado alcançado até agora é a possibilidade de geometrização de um icosaedro feito de segmentos curvos a partir do raio ou do diâmetro desejado. Este icosaedro seria a estrutura primária do abrigo do Chile. A partir dos mesmos dados podemos também conseguir medidas precisas para pré-fabricar mantas circulares de

fibrobarro que cobrirão a superfície da estrutura e deformarão se tornando calotas esféricas.

A estrutura primária (figura 317) foi adensada com outros segmentos de bambu previamente encurvados pelo calor. O adensamento buscou alongar os segmentos já existentes adicionando a eles outros segmentos que foram amarrados à estrutura. O resultado foi uma grande diminuição no tamanho dos vãos livres da superfície da esfera (figura 318), deixando-a preparada para receber uma tela e posteriormente as mantas de fibrobarro.



Figuras 320 e 321 – Estrutura primária antes e após o adensamento com novos segmentos curvos

Por motivos de cronograma e prazos de entrega, até o fechamento desta tese este trabalho ainda não havia sido realizado. Mas com certeza os primeiros passos fundamentais para que novos experimentos sejam feitos e colocados em prática em escala real foram dados. Seria interessante construir em laboratório, ou num local próximo, um domo com as mesmas características porém com bambus como o *Phillostachis aurea*, para testarmos em escala real as dificuldades de montagem, adensamento e aplicação das mantas de fibrobarro, bom como possíveis imprevistos que poderiam colaborar no desenvolvimento desta pesquisa.

Os desdobramentos desta pesquisa serão relatados em outras dissertações, teses e artigos científicos a serem publicados pelos membros do LILD.

4

Considerações finais

Uma das grandes intenções deste trabalho foi encontrar oportunidades de construir estruturas de cobertura coletivamente com material e mão-de-obra locais, utilizando técnicas desenvolvidas e/ou aperfeiçoadas pelo LILD ao longo dos anos. Com o objetivo de apresentar as conclusões finais de forma organizada e sistematizada, as reflexões a seguir serão categorizadas de acordo com as etapas de envolvimento do LILD com os grupos de parceiros para a realização de experimentos de campo. São elas: contexto, conceito, conteúdo.

A etapa contexto se refere ao momento inicial de estabelecimento da parceria entre o laboratório e um grupo específico. Nesta etapa é importante que o pesquisador consiga descobrir uma necessidade ou uma oportunidade de trabalho que seja relevante para as duas partes. Para isso é necessário conhecer profundamente o contexto de atuação, seus atores principais, possíveis envolvidos e disponibilidade de recursos naturais locais a serem utilizados na construção, entre outros aspectos.

A disponibilidade de atuação da população local numa ação comunitária de construção como um mutirão deve ser verificada com cautela e, se possível, a parceria deve ser formalizada através de um documento por escrito, especificando direitos e deveres entre as partes comprometidas. Este tipo de formalização se faz necessária para que o trabalho seja desenvolvido com seriedade, para que cada grupo saiba exatamente quais são as condições favoráveis para que a construção coletiva aconteça de forma plena e para evitar futuras cobranças por conta de divergência sobre o papel de cada um no desenvolvimento do trabalho de pesquisa. Também é interessante estabelecer um responsável de cada grupo envolvido para que não ocorram problemas de falha na comunicação ou ingerência no planejamento e execução do objeto.

Algumas parcerias relatadas neste trabalho poderiam ter se tornado experiências mais ricas do ponto de vista da pesquisa, se a etapa de contextualização tivesse se realizado plenamente. Tanto no Sítio Abaetetuba

quanto no Bichinho do Mato ocorreram problemas de falta de pessoas disponíveis para trabalhar no sistema de mutirão, o que comprometeu o cronograma e a qualidade técnica dos experimentos gerados nestes contextos. A falta de um responsável pela obra da Geodésica do Bichinho do Mato também foi um fator negativo na condução da parceria entre o laboratório e o grupo local.

Na conceituação são gerados desenhos, modelos físicos reduzidos e modelos eletrônicos que auxiliam os pesquisadores a encontrar as formas e técnicas construtivas mais adequadas ao contexto determinado. Esta etapa é fundamental para a antecipação de futuros problemas, pois ao manipular os modelos físicos o pesquisador consegue visualizar elementos construtivos e às vezes simular a montagem das peças entre outras percepções.

No processo de design, o erro é muito importante como ferramenta de aprendizado porque a partir dele é possível analisar o que poderia ser feito diferente para que o mesmo fosse evitado. Ao gerar alguns desenhos e modelos físicos como alternativas projetuais, o pesquisador se fortalece quanto às possibilidades construtivas, antecipa erros e ainda tem um instrumento físico de diálogo com outros pesquisadores e com o grupo de trabalho em parceria. O uso de modelos eletrônicos, em alguns estudos de caso, mostrou-se como uma ferramenta fundamental para a obtenção de dados precisos, que auxiliaram a execução tanto de modelos reduzidos quanto do objeto construído. O uso de modelos que simulam uma parte do todo também pode ser de grande valia, já que neles o pesquisador pode avaliar uma parte do que será construído, em escala real ou aproximada, utilizando as mesmas técnicas que utilizará no contexto determinado. Os modelos simuladores podem ser feitos em laboratório ou até mesmo no local onde será construído o objeto, como ferramenta de aprendizado e integração entre laboratório e parceiros.

O conteúdo se refere aos momentos de produção e construção que devem ser muito bem planejados para que haja segurança e produtividade durante as vivências construtivas. Reunir o grupo e explicar tudo o que será feito, utilizando os modelos e desenhos para que o grupo visualize o objeto que será construído, pode ser muito útil, assim como dividir o grupo em subgrupos e distribuir tarefas, onde sempre uma pessoa mais experiente fica com outra(s) menos experiente(s).

Estes simples procedimentos auxiliam no fortalecimento das trocas convencionais entre os diversos atores envolvidos.

Com relação aos aspectos técnicos, foi observado que os bambus amarrados, mesmo quando muito bem amarrados, tendem a deslocamentos mínimos devido a esforços realizados na estrutura ou até mesmo devido ao seu peso próprio. A superfície lisa da parede dos bambus favorece este tipo de deslocamento devido ao baixíssimo atrito entre elas. Estruturas ou tramas amarradas de bambu que recebem revestimento de fibrobarro devem ser muito bem feitas para que sejam evitados trabalhos excessivos de manutenção de rachaduras ou descolamentos de placas do material da estrutura. Também é importante observar que algumas formas favorecem a estabilidade estrutural de uma estrutura amarrada enquanto outras podem favorecer a movimentação. O pesquisador deve prever estes possíveis deslocamentos durante a fase de conceituação/desenvolvimento e deve averiguar com rigor se as amarrações estão bem feitas pois a não observância destes fatores pode comprometer a integridade física tanto do objeto quanto das pessoas envolvidas.

Sobre a manutenção dos experimentos de campo, é possível afirmar que ela se relaciona diretamente com os itens anteriores, já que durante o uso do objeto arquitetônico as pessoas que estiveram envolvidas naquela construção podem observar possíveis necessidades de reforço na estrutura ou reparos no revestimento, troca de peças avariadas ou outros problemas imprevistos. Essas pessoas terão um olhar diferenciado sobre aquele objeto, afinal participaram ativamente do seu fazer e serão capazes de manter, de maneira autônoma, aquele experimento, muitas vezes acrescentando seu toque pessoal e modificando as intenções projetuais iniciais, aprendendo com seus erros e acertos, e continuando as trocas convencionais, sejam elas com as outras pessoas envolvidas ou até mesmo com os objetos com os quais se relacionam no seu cotidiano.

Sendo assim, esta tese contribui com o estado da arte e cumpre com seus objetivos propostos, pois foram desenvolvidos e testados novos modelos de estruturas de cobertura que ampliaram o repertório de sistemas estruturais do LILD. Um dos destaques desta pesquisa foi o avanço no entendimento e no uso da geometria geodésica com o desenvolvimento do domo estrela, do domo curvo de

ripas e do domo de bambus termocurvados, este último ainda não construído em escala real. A descoberta dos índices para a construção de domos feitos de segmentos curvos também é de grande valia para a pesquisa pela possibilidade de obtenção do tamanho das peças e do posicionamento de cada amarração num domo curvo simplesmente a partir do raio da esfera desejada, sem nenhum cálculo complexo.

Outro aspecto positivo da pesquisa foi a sua aplicação em campo, através do ensino de técnicas desenvolvidas pelo LILD, em mutirões de construção coletiva. Tais eventos favorecem a colaboração entre as pessoas e a troca de saberes através da convivência e da prática construtiva coletiva, e auxiliam no resgate da interação existente entre as atividades de ensino, pesquisa e produção. A construção das estruturas em escala e contexto reais trazem resultados concretos e retroalimentam a pesquisa de informações sobre a ação do meio físico e social sobre estes experimentos que devem ser considerados em pesquisas futuras.

Referências Bibliográficas

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

CAPRA, F. **Alfabetização ecológica – a educação das crianças para um mundo sustentável**. São Paulo: Cultrix, 2006.

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

FUAD-LUKE, A. **The eco-design handbook**. Londres: Thames & Hudson, 2002.

HOLMGREN, D. **Os fundamentos da Permacultura – versão em português (Brasil)**. Austrália: Holmgren Design Services, 2007.

LOTUFO, V.A. & LOPES, J.M.A. **Geodésicas e Cia**. São Paulo: Projeto Editores Associados LTDA, 1982.

LOVELOCK, J.E. & MARGULIS, L. **Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the Gaia Hypothesis**. Tellus XXVI, Boston, 1974. Disponível em <http://www.jameslovelock.org/page34.html>.

MANZINI, E. **Design para a inovação social e sustentabilidade – Comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais**. Rio de Janeiro: E-books, 2008.

MOLLISON, B. **Introdução à Permacultura**. Tyalgum (Austrália): Tagari Publications, 1994.

PAPANEK, V. **Design for the Real World – human ecology and social change**. Academy Chicago Publishers, 1984.

RIPPER, J.L.M & MOREIRA, L.E. **Métodos de ensino no design de produtos e sua aplicação às estruturas da engenharia civil.** Congresso Brasileiro de ensino de engenharia – COBENGE 2004, Brasília-DF, 2004.

SEIXAS, M.A.P.S. **Inserção social de arquiteturas temporárias de bambu e lonas têxteis utilizando tecnologias não-convencionais.** Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.

THACKARA, J. **Plano B – o design e as alternativas viáveis em um mundo complexo.** São Paulo: Editora Saraiva, 2008.