

### 3 Métodos, técnicas e experimentos

#### 3.1

#### Ingresso no Laboratório de Investigação em Living Design (LILD)

Antes mesmo de ingressar para o Mestrado fui orientado pelo Ripper a começar a ajudar outros pesquisadores do LILD em seus experimentos com o objetivo de entender o funcionamento do laboratório, conhecer e aprender a manusear os materiais e ir conhecendo aos poucos as técnicas construtivas utilizadas na pesquisa. Os primeiros materiais que tive contato foram o sisal e o barro utilizados para fazer um compósito natural que chamamos de fibro-barro, onde participei do processo de construção de uma cúpula construída com esta tecnologia que depois foi impermeabilizada com resina de mamona.



Figura 51 – Experimentos com fibro-barro



Figura 52 – Modelo da cúpula catenária: Forma de areia. Fibro-barro. Desmoldado.



Figura 53 – Montando placas de fibro-barro.



Figura 54 – Aplicação de resina de mamona e cúpula finalizada

Particpei também de um experimento com a deformação de uma malha, conhecido como jogo do contrário (Lotufo,1981), onde tudo que funciona de cabeça para baixo à tração funciona, quando invertido, à compressão.



Figura 55 – Experimento com deformação: o que funciona à tração quando invertido funciona à compressão

### 3.2

#### Experimentos com o objeto de estudo no LILD

Após alguns meses fui orientado a escolher um objeto de estudo, pois meu tema proposto eram as estruturas leves e falar de todas elas na minha pesquisa seria um estudo muito abrangente e pouco aprofundado. O objeto escolhido foi o domo geodésico e para compreendê-lo melhor iniciei alguns experimentos cada um com uma abordagem diferente. O primeiro experimento foi com a planificação dos triângulos geodésicos com a finalidade de estudar a modelagem de um tecido esticado dentro de uma geodésica. O material escolhido foi um plástico translúcido utilizado em capas de encadernação que estava disponível e tinha características semelhantes a uma lona de PVC, por não ceder ao ser solicitado.

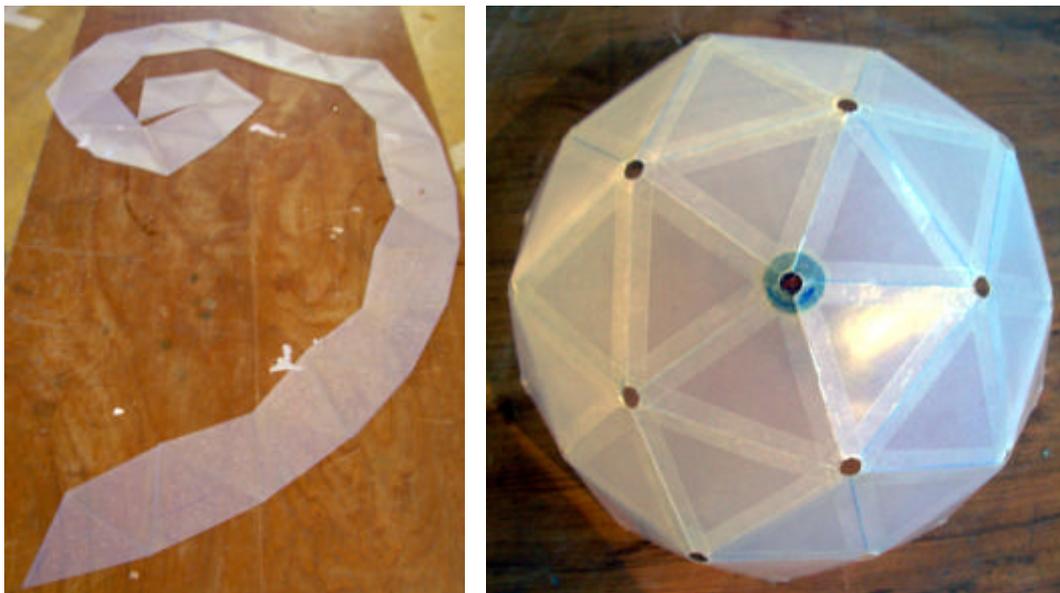


Figura 56 – Geodésica planificada e montada



Figura 57 – Geodésica de dentro sendo puxada pela geodésica de fora

Através dos experimentos, fui entendendo melhor o princípio construtivo das geodésicas, seus triângulos esféricos e como as cargas pontuais podem ser aplicadas em sua estrutura tanto em direção ao centro como do centro para fora, sempre passando pelos vértices.

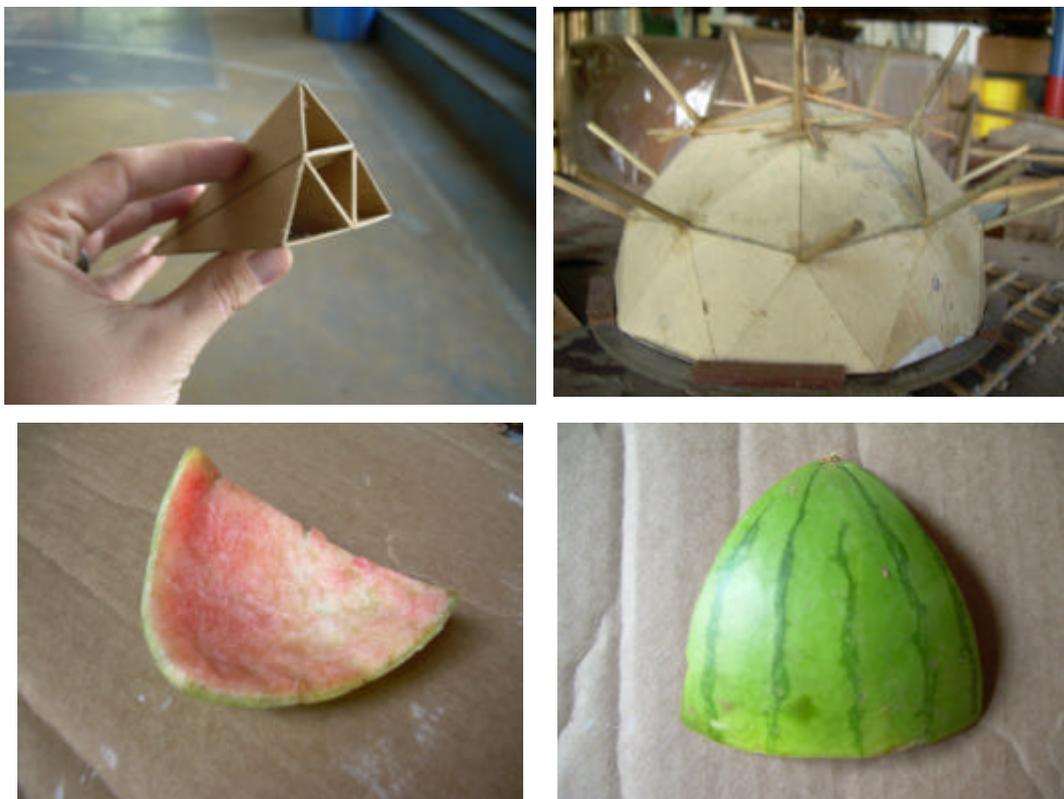


Figura 58 – Experimentos ilustrando os triângulos esféricos constituintes das geodésicas, suas projeções para fora a partir do centro e triângulo esférico na casca da melancia

O primeiro experimento com um domo composto de barras tinha como objetivo entender o funcionamento da técnica do “giro”, onde a ponta de cada barra da geodésica trepa na ponta da barra adjacente e assim por diante. Em telhados essa técnica é chamada de viga recíproca e o termo “giro” é devido ao desenho que forma como se os elementos que se juntam tivessem sido rotacionados. Foram feitos então dois domos derivados do icosaedro na frequência  $2v$ , o primeiro com barras de palito de bambu e juntas de papel e o outro com barras de palito de bambu pintadas amarradas em giro com fio encerado. Neste experimento as barras têm dois tamanhos diferentes diferenciados pela cor.

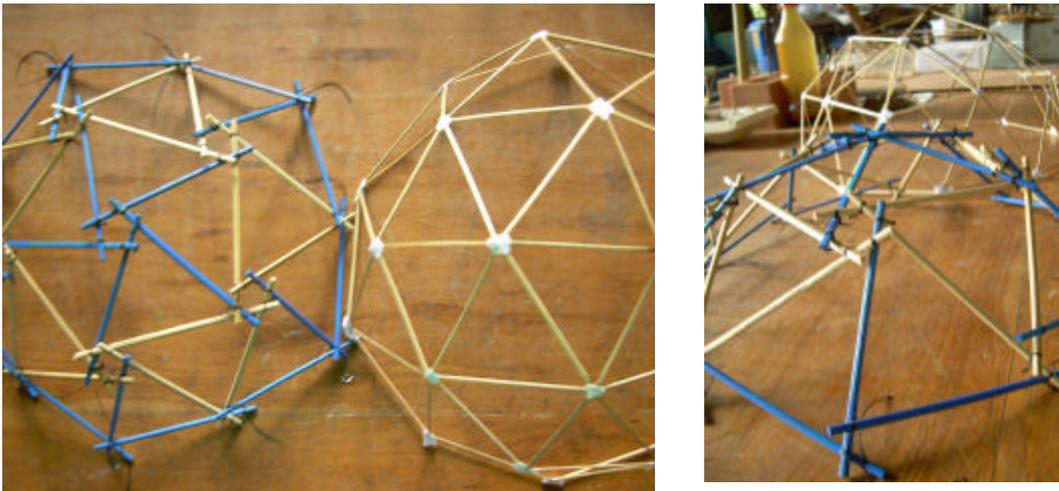


Figura 59 – Modelos de geodésica com giro e com juntas

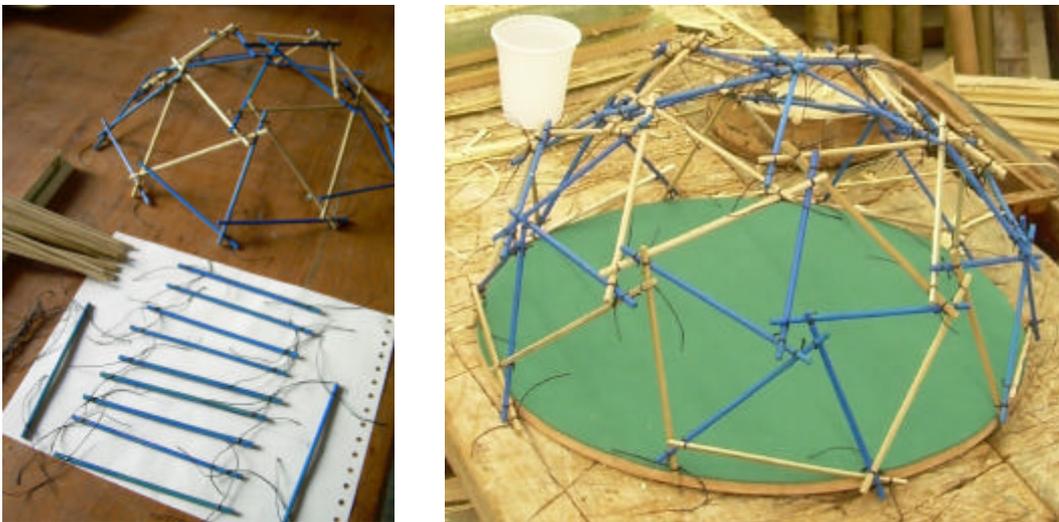


Figura 60 – Peças pré-fabricadas com modelo em andamento e modelo finalizado

Um outro experimento do qual participei logo que ingressei no laboratório foi de um domo composto por bambus revestidos com diferentes materiais e modos de aplicação. Nossa finalidade era observar os diversos comportamentos dos bambus revestidos em uma geodésica montada. Foram utilizados vários tipos de barro (vermelho, amarelo, branco) em conjunto com fibras vegetais, alguns com cola PVA, outros com aplicação final de resina de mamona. Uns foram “mumificados” com atadura, barro e cola, e outros foram simplesmente barreados.



Figura 61 – Peças de bambu com diversos revestimentos naturais



Figura 62 – Peças prontas para montagem e domo geodésico montado no LILD



Figura 63 – O giro em detalhe e a amarração com corda e torniquete de madeira

### 3.3

#### Experimentos com o objeto de estudo fora do LILD

Em julho de 2008 fui fazer um curso com o arquiteto Tomaz Lotufo, filho de Vitor Lotufo e contei para ele sobre minha pesquisa sobre as geodésicas. A primeira pergunta dele foi como eram as juntas que nós utilizávamos no LILD. Eu falei que não usávamos juntas, que fazíamos o giro e ele se interessou. Durante o curso ele me propôs que montássemos juntos um domo com os outros alunos e depois de conseguirmos algumas cordas de sisal, barbante e um arco de serra iniciamos o corte das peças de bambu que comporiam o objeto. Depois de determinar a distância, iniciamos as amarrações em cada uma das barras e montamos o domo por pentágonos.



Figura 64 – Primeira etapa da montagem do domo e peças já pré-amarradas

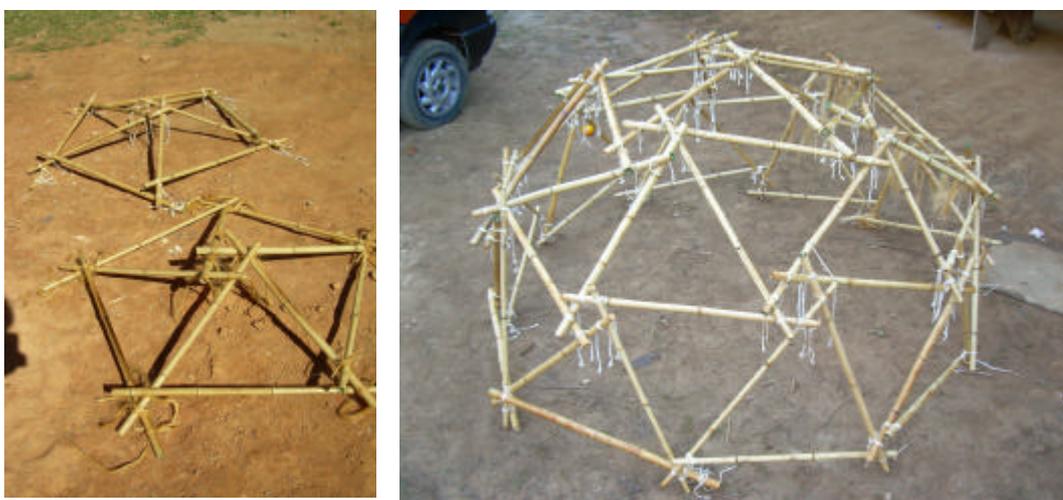


Figura 65 – Módulos pentagonais pré-montadas e domo pronto

Em outubro do mesmo ano, Tomaz me convidou para ajudá-lo num curso de técnicas construtivas locais para uma comunidade de agricultores em Botucatu, São Paulo. Eu não pude ir devido aos trabalhos do final de semestre mas mesmo sem a minha presença ele aplicou o que tinha aprendido e depois me mostrou os resultados. O grupo construiu um domo para ser utilizado como estufa com varas de bambu e amarrações de corda de sisal e cavilhas. Tudo foi feito em apenas um dia e o domo também foi pré-montado em seis pentágonos triangulados que depois de unidos compõe a geodésica.



Figura 66 – Montando módulos pentagonais em um gabarito e transportando o módulo



Figura 67 – Módulos empilhados e armazenados e montagem do domo por módulos



Figura 68 – Finalizando a montagem e revestindo com plástico a estufa

### 3.4

#### Estudo de caso – a cobertura do novo LILD

No primeiro semestre de 2007 recebemos a notícia de que teríamos que nos mudar às pressas pois nosso laboratório seria desalojado do estacionamento para dar lugar a um edifício garagem e um prédio da Petrobrás. Fomos remanejados temporariamente para uma quadra de esportes no antigo Colégio São Marcelo, cujo prédio principal recebeu também outros laboratórios da PUC-Rio e que está em obras para abrigar outros setores da Universidade.

Porém, a estrutura espacial treliçada modular do laboratório havia sido uma doação via BNDES ao Departamento de Design e não poderia ser simplesmente demolida e descartada. Surgiu então a idéia de desmontar e reformar as peças para que pudessem ser montadas novamente em outro local com outra configuração. Começou então a busca por um local no campus onde seria projetado e montado o novo LILD e antes mesmo de encontrarmos um local começamos alguns estudos conceituais de configuração da nova estrutura.



Figura 69 – Estrutura do antigo laboratório sendo desmontada

Já com a localidade encontrada iniciamos o projeto pela estrutura metálica que estava sendo reformada e recebendo tratamento de galvanização. Os primeiros estudos nos 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 idéia era de uma geodésica ou uma cúpula de planta baixa quadrada.

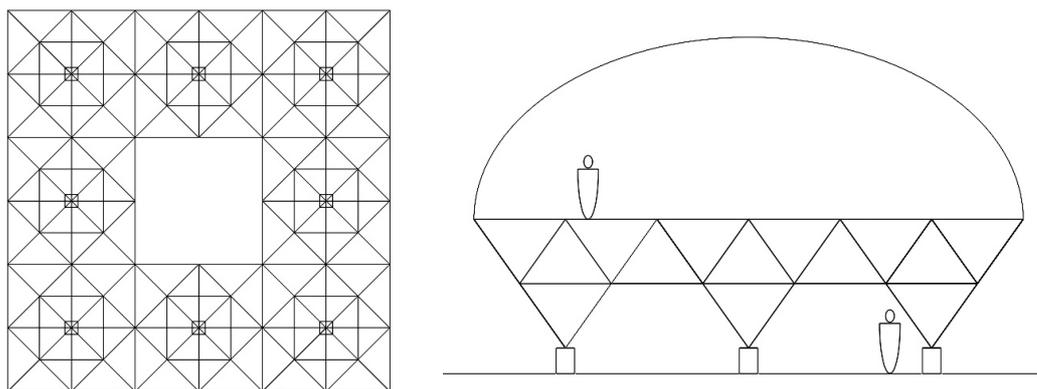


Figura 70 – Planta e vista dos estudos do novo laboratório

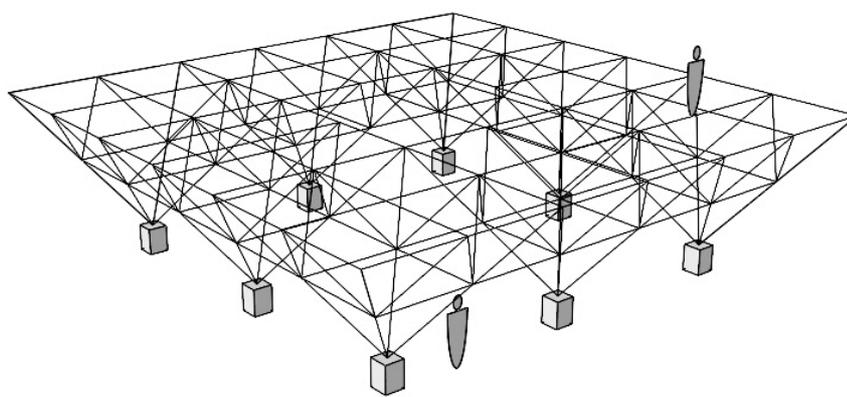


Figura 71 – Perspectiva dos primeiros estudos da estrutura metálica do novo LILD

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. Com o modelo da estrutura metálica pronto, iniciamos os estudos da cobertura do laboratório.

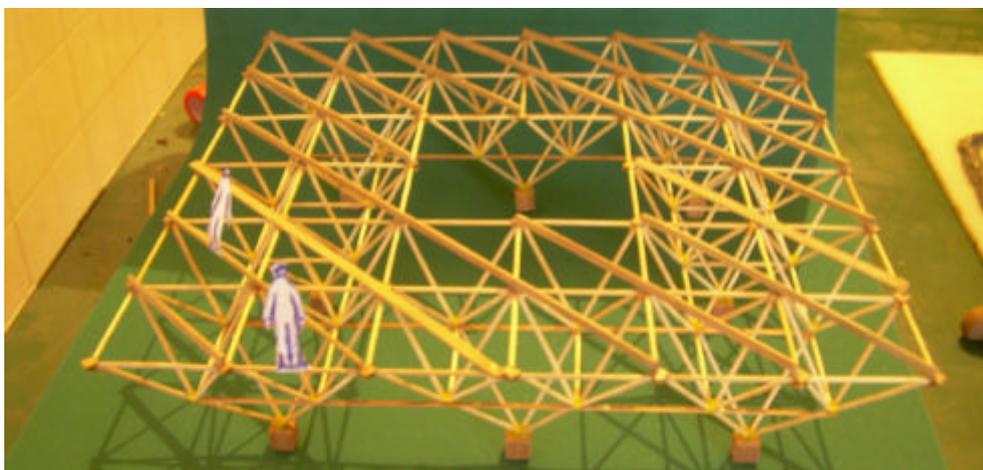


Figura 72 – Modelo dos primeiros estudos da estrutura metálica do novo LILD

## Experimento 1

O primeiro experimento tinha como objetivo produzir uma casca como modelo para a cobertura do laboratório. Montamos um dispositivo de madeira com uma moldura elevada do piso a fim de deformar uma rede ortogonal de cabos através de pesos feitos com arruelas de metal amarradas por linhas nesta rede.

Depois, revestimos a malha deformada com filme de PVC usado aqui como desmoldante e aplicamos 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.

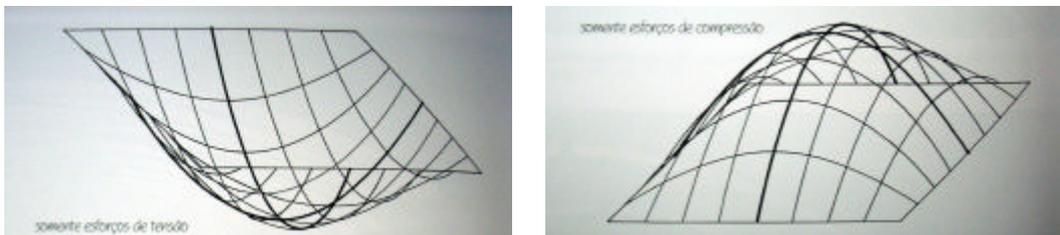


Figura 73 – Figuras do livro do Engel mostrando os esforços de tração e compressão



Figura 74 – Dispositivo para experimento com deformação com pesos

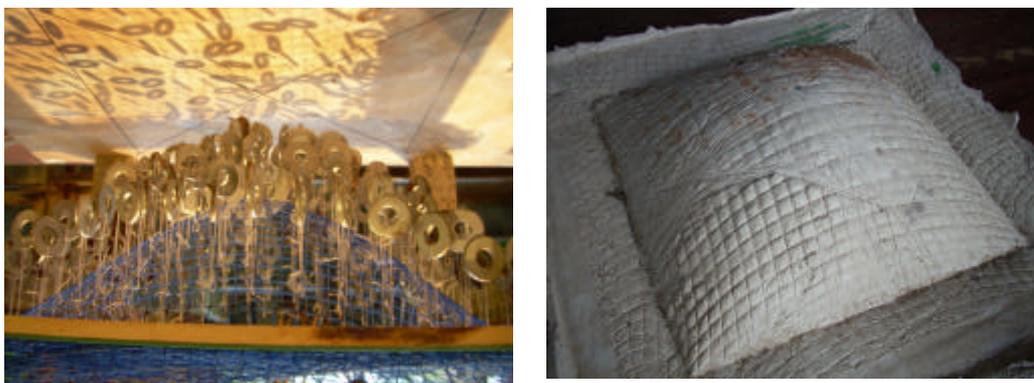


Figura 75 – Imagem invertida para visualizar a curva e modelo 1 já desmoldado

## Experimento 2

Após o primeiro experimento, começamos a tentar em escalas menores produzir outras deformações por gravidade com o objetivo de estabelecer limites de altura para a cobertura. O princípio foi o mesmo usado anteriormente com uma moldura elevada do chão pra que uma malha, neste caso um tecido elástico, fosse deformada. Colocamos um pino de metal no piso do dispositivo a fim de estabelecer uma altura máxima para a deformação, porém devido ao material muito elástico e ao peso do gesso derramado, o modelo não respeitou os limites de altura que lhe foram impostos, surgindo assim um sólido de gesso com uma forma inesperada, mas que agradou ao Ripper que já tinha visto uma forma parecida num livro do Frei Otto.

A nova forma tinha vantagens em relação à anterior porque com ancoragem interna o vão diminuiria, reduzindo os esforços na estrutura. Além disso o fato de a cobertura ter uma abertura no centro permitiria a entrada da iluminação natural e o recolhimento da água da chuva como acontecia no antigo LOTDP/LILD.



Figura 76 – Pequeno dispositivo com pino limitador de altura e modelo 2 resultante

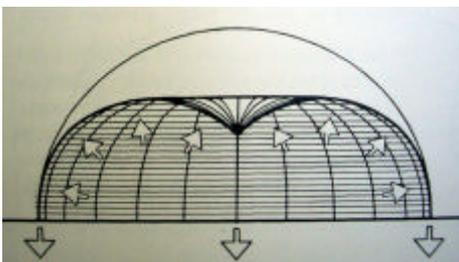


Figura 77 – Figura do Engel ilustrando as forças atuantes com ponto de ancoragem interno e perspectiva da forma

### Experimento 3

Com o objetivo de fazer outra casca de gesso, voltamos ao dispositivo do experimento 1 e colocamos um cilindro no meio, com a rede de cabos apoiada nele. Novamente com ataduras de algodão e gesso fizemos a casca que depois de seca foi desmoldada. O resultado foi uma forma parecida com uma fôrma de pudim de base quadrada ou um toro deformado cortado no meio por um plano horizontal. Modelo em escala 1:50.



Figura 78 – Modelo 3 no dispositivo e depois de desmoldado

### Experimento 4

A partir da casca do experimento 3, com o auxílio de um compasso fomos dividindo a casca interna, de forma simétrica, em triângulos. Após desenharmos os triângulos na parte negativa da casca, fomos colando barras feitas de palito de bambu ligando os vértices dos triângulos e posteriormente desmoldamos esta estrutura de barras trianguladas, o que seria o primeiro rascunho em forma de modelo físico em escala 1:50 da estrutura de cobertura do novo LILD.

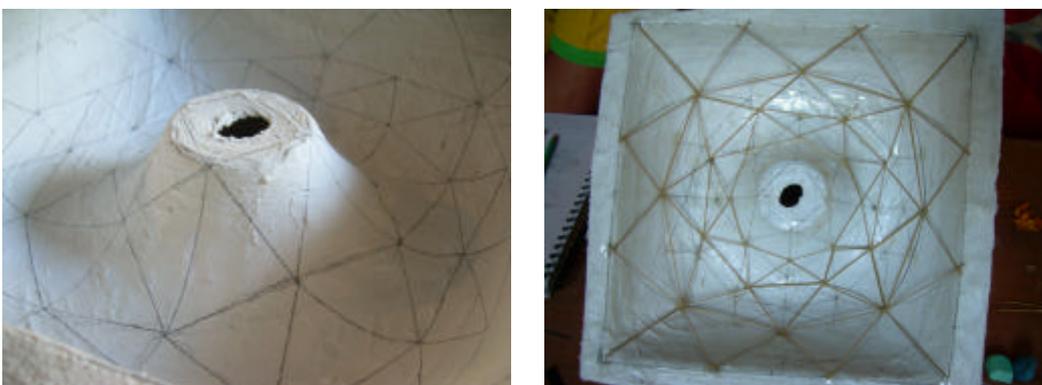


Figura 79 – Triângulos desenhados por dentro da casca e estrutura interna triangulada



Figura 80 – Desenho de Ripper com algumas medidas chave do projeto

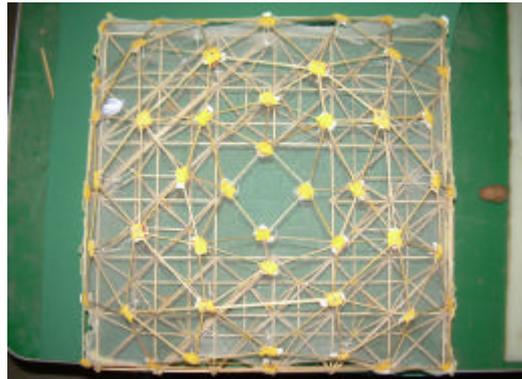
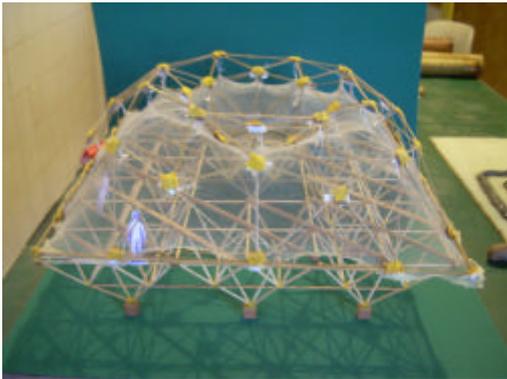


Figura 81 – Modelo da cobertura do novo LILD com a estrutura metálica.

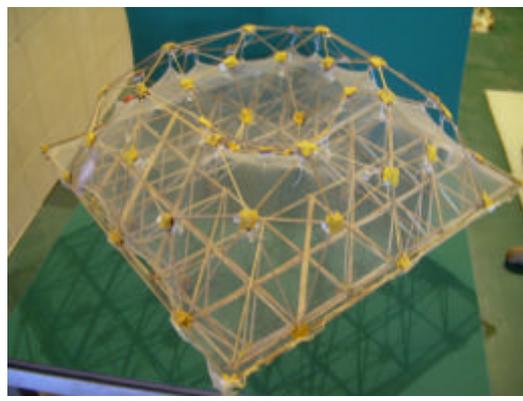
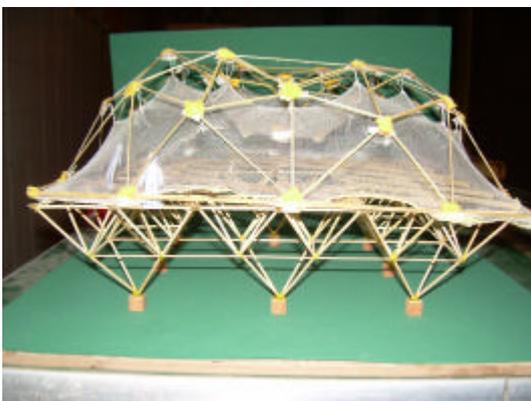


Figura 82 – Modelo da cobertura do novo LILD com a estrutura metálica.

## Experimento 5

A presença do Prof. Miguel Sette, doutorando em Design, no laboratório foi muito importante nesta etapa do processo de design. Físico, professor e divulgador de ciência, Miguel trouxe sua experiência com bolhas de sabão para o LILD e a partir das suas dicas, iniciamos experimentos com bolhas de sabão deformadas por instrumentos feitos de fios encapados com o objetivo de gerar a superfície mínima da cobertura do novo laboratório. As bolhas foram escolhidas porque na natureza tudo funciona da forma mais econômica possível seguindo a lei do mínimo esforço. O resultado foi visualizado na forma que estávamos procurando e que foi alcançado deformando as bolhas de sabão.



Figura 83 – Miguel experimentando formas com sabão e a forma desejada da cobertura

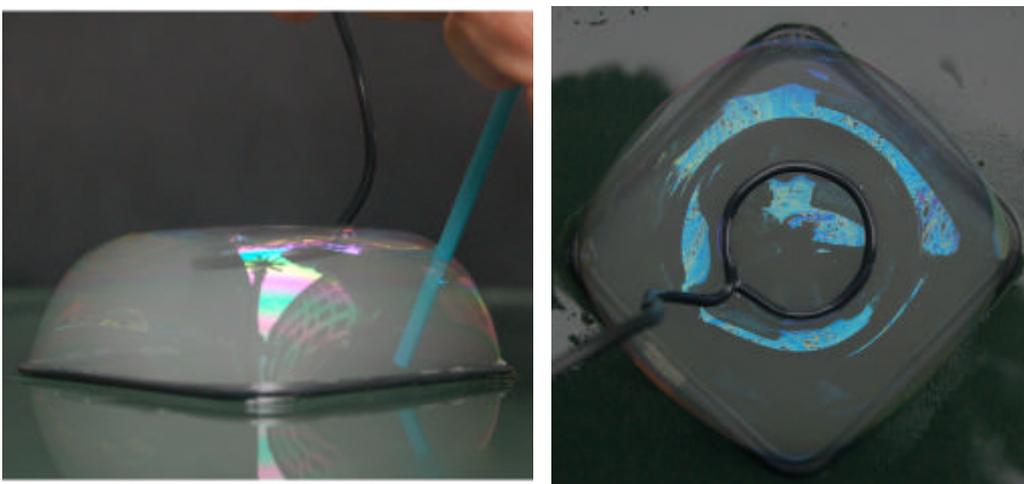


Figura 84 – Experimentos com bolhas de sabão e fumaça com a forma da cobertura

## Experimento 6

Os experimentos com as bolhas tinham sido satisfatórios, porém a forma desejada não durava muito tempo até a bolha estourar e também não tínhamos como tirar um molde da forma para trabalharmos com os modelos físicos. Então iniciamos experimentos com infláveis, mantendo o controle da base com uma moldura recortada de uma caixa de papelão e deformando a bolha de látex gerada com o auxílio de um objeto cilíndrico. O dispositivo tinha duas hastes em suas diagonais para mantermos o controle da altura da cobertura.



Figura 85 – Dispositivo para experimento com bolas de látex



Figura 86 – A forma desejada para a cobertura numa superfície de látex

## Experimento 7

Os experimentos com os infláveis estavam funcionando bem, entretanto ainda havia a necessidade de termos um maior controle e estabilização da forma para que pudéssemos retirar um molde da forma a fim de trabalhar com os modelos físicos. Construímos então um dispositivo onde podíamos soprar uma fina membrana de látex dentro de uma moldura quadrada limitada por um copo no centro, gerando a forma desejada.

Estabilizada a forma inflada, iniciamos o processo de obtenção do molde em gesso, mas por problemas com o peso do gesso somados a um pequeno vazamento de ar, a forma não ficou estável e não conseguimos obter o molde negativo.



Figura 87 – Dispositivo para experimentos controlados com membrana de látex



Figura 88 – Tentativa de extrair uma fôrma de gesso a partir do látex inflado

## Experimento 8

Com as dificuldades em obter a forma desejada num modelo físico estável, procuramos o Centro de Design Rio no Instituto Nacional de Tecnologia. Levamos as imagens dos experimentos com as bolhas de sabão e os parâmetros de projeto com o objetivo de gerar um modelo virtual que pudesse ser confeccionado em fresa CNC (controle numérico computadorizado). O resultado foi uma forma tridimensional em gesso muito próxima dos experimentos com as bolhas.



Figura 89 – Modelo em gesso feito em fresa a partir de modelo virtual

## Experimento 9

A partir da forma de gesso do experimento anterior, foi retirado um molde negativo para trabalharmos a triangulação de barras e gerar alternativas para a estrutura de bambus. Foram gerados outros modelos com forma livre com o mesmo objetivo de entender melhor o funcionamento deste tipo de estruturas e gerar alternativas.



Figura 90 – Modelos com forma livre para gerar alternativas

## Experimento 10

Alguns experimentos estavam acontecendo quase que paralelamente, por isso, mesmo já tendo obtido a forma desejada em gesso, decidimos continuar um experimento já iniciado num molde negativo de barro. Havíamos experimentado alterações na estrutura metálica que nos permitiam mudar um pouco as formas obtidas pelas bolhas, com uma cobertura mais baixa. De maneira semelhante ao experimento 4, triangulamos a parte interna do molde com palitos de bambu, desmoldamos a calota e tentamos um novo tipo de estrutura central com bambus se cruzando. O resultado foi um modelo em escala 1:50 que na parte central ancorava na estrutura metálica num ponto mais baixo que o perímetro da estrutura que se apoiava um módulo acima nas novas peças da fachada.

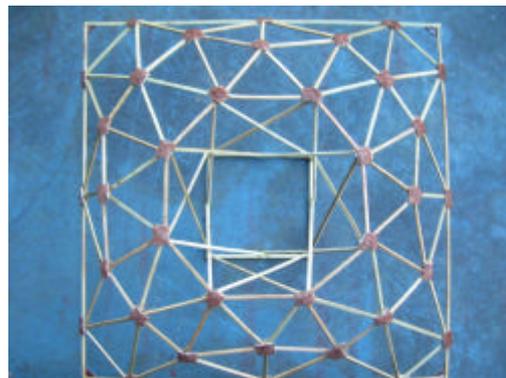
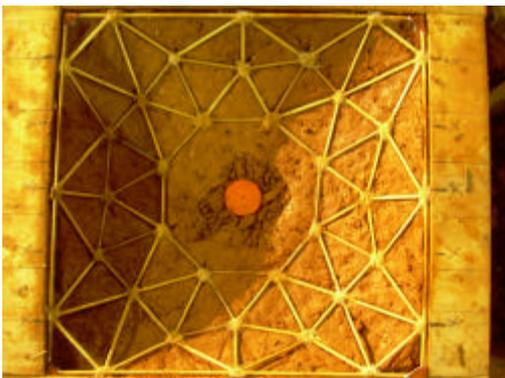


Figura 91 – Triangulação em molde negativo de barro e vista superior do modelo 10

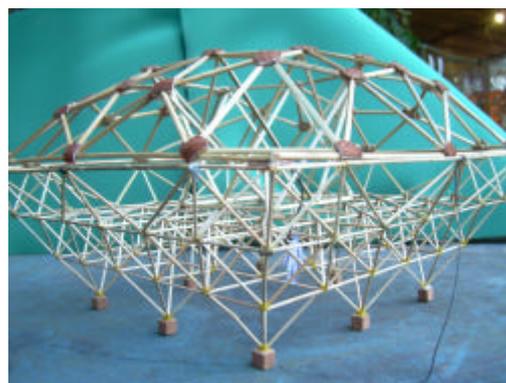


Figura 92 – Vista do modelo10 mostrando a estrutura central abaixo da periférica e cobertura com estrutura metálica reprojeta

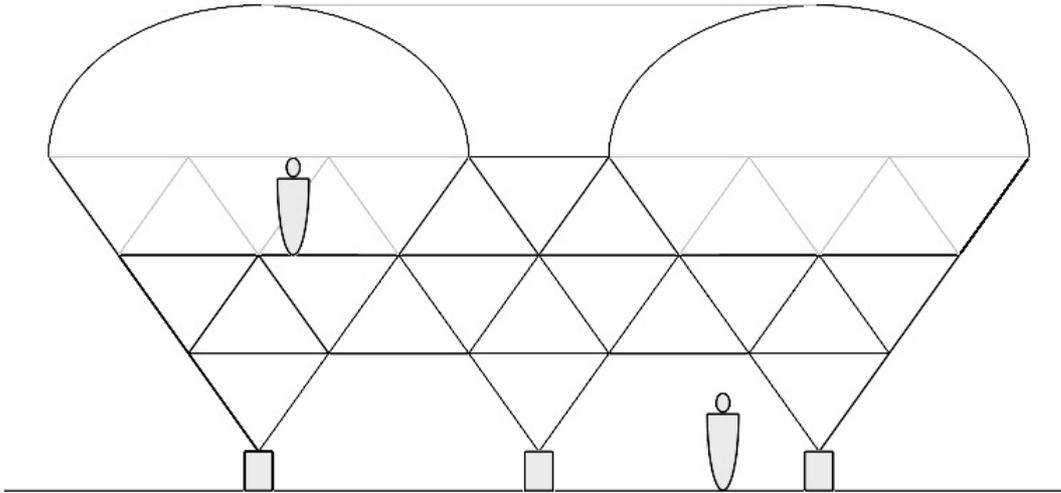


Figura 93 – Corte esquemático do novo LILD em rascunho virtual

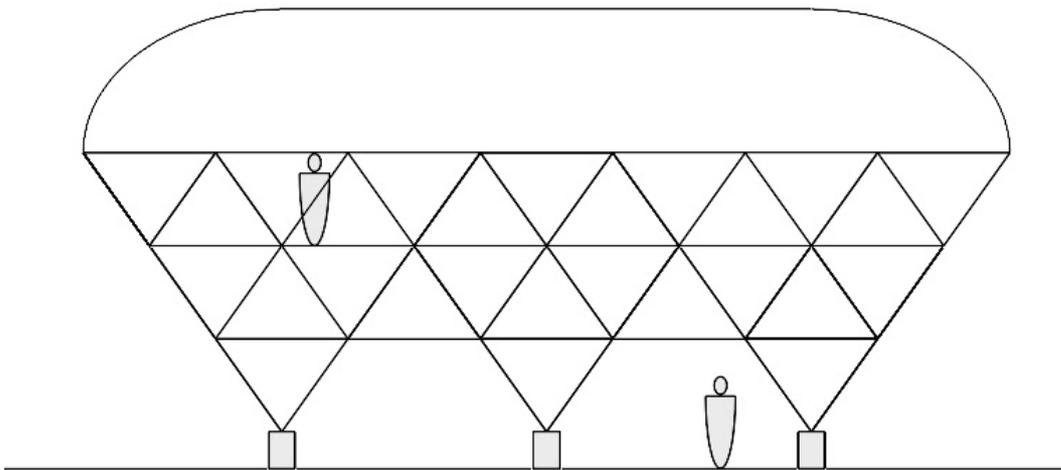


Figura 94 – Fachada esquemática do novo LILD em rascunho virtual

## Experimento 11

A partir de algumas correções nas alturas do experimento anterior, fomos estabelecendo onde se localizavam as projeções das juntas e suas alturas a partir do piso. Com isso tínhamos em mãos as coordenadas necessárias para a confecção de novos modelos sem o auxílio de moldes negativos e com a possibilidade de detalhar melhor as juntas, transformando-as em giro. Para isso foi criado um dispositivo composto de uma base de compensado onde foi colado um papel e desenhada a projeção da cobertura. Nas juntas do desenho, um papel cartão dobrado colado na base servia de tripé para um palito de bambu que por sua vez servia de suporte para rodela de borracha localizadas nas alturas pré-determinadas. O resultado foi o primeiro modelo montado em giro com a estrutura de cobertura do novo LILD em escala 1:50

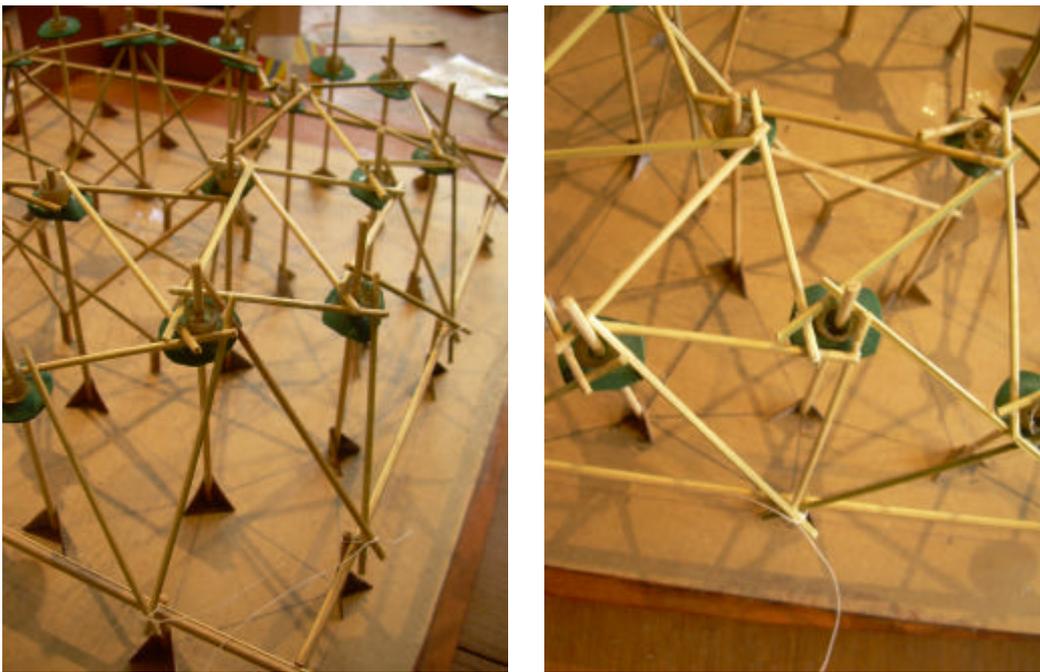


Figura 95 – Detalhe do dispositivo – desenho no piso, tripé, palito e suporte de borracha



Figura 96 – Passo a passo da montagem da cobertura no dispositivo

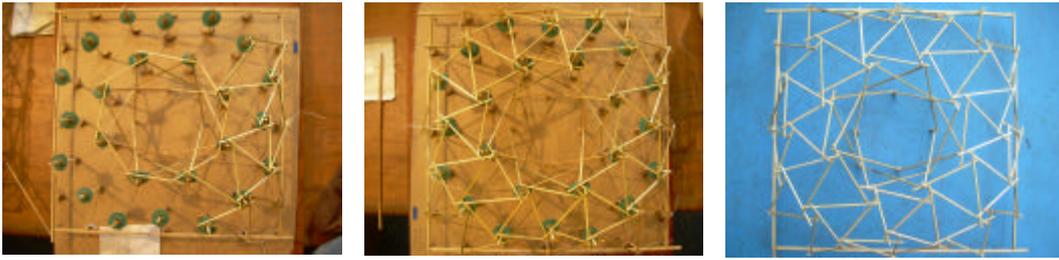


Figura 97 – Passo a passo da montagem da cobertura no dispositivo

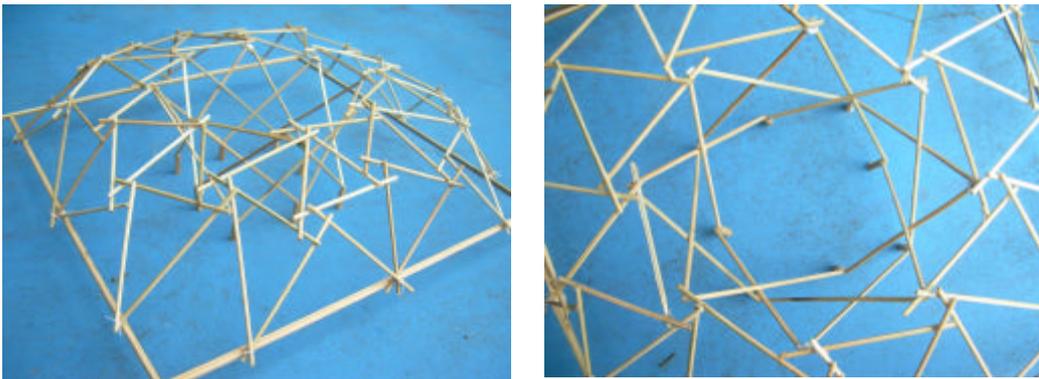


Figura 98 – Modelo 11 já fora do dispositivo e detalhe da estrutura central

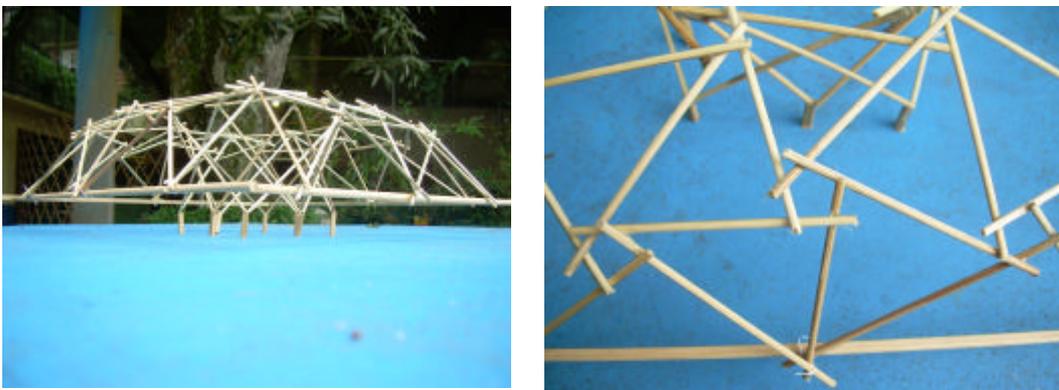


Figura 99 – Modelo 11 em vista lateral e detalhe do giro

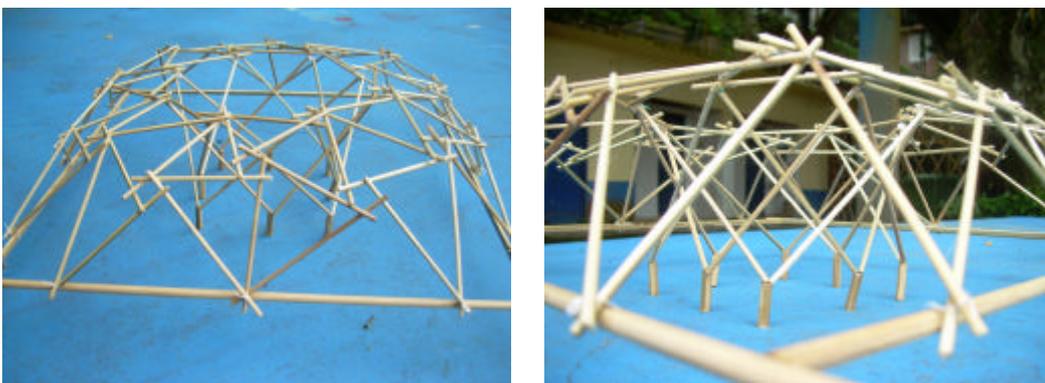


Figura 100 – Modelo 11 e detalhe da parte interna

## Experimento 12

Após o experimento anterior resolvemos fazer um modelo mais detalhado da estrutura central. Para isso montamos um dispositivo em escala 1:25 e montamos a estrutura central totalmente amarrada por linhas fazendo o giro sobre os suportes. Nos modelos anteriores havíamos usado cola para unir as barras de bambu devido à escala reduzida 1:50, que causava dificuldades para amarração. Este modelo funcional da parte central nos mostrou que poderíamos seguir em frente com os experimentos em escala 1:50 já que funcionou perfeitamente com as amarrações.

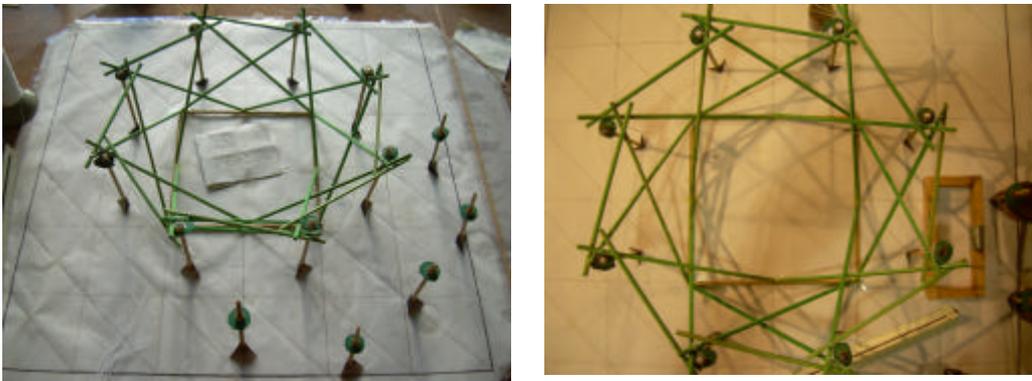


Figura 101 – Estrutura central montada com amarrações em escala 1:25



Figura 102 – Detalhe do giro sobre o suporte com as barras amarradas

### Experimento 13

Com o dispositivo em escala 1:50 montado e à disposição, resolvemos voltar para a primeira idéia da estrutura central triangulada, assim como o resto da estrutura de cobertura. Neste modelo também iniciamos o processo de utilização de barras de tamanhos pré-estabelecidos, identificadas por cores diferentes. Nesta primeira tentativa o objetivo era que a estrutura central da cobertura ancorasse nas quinas do quadrado central da estrutura metálica, o que fez com que os giros próximos a estas quinas não se realizassem com perfeição.

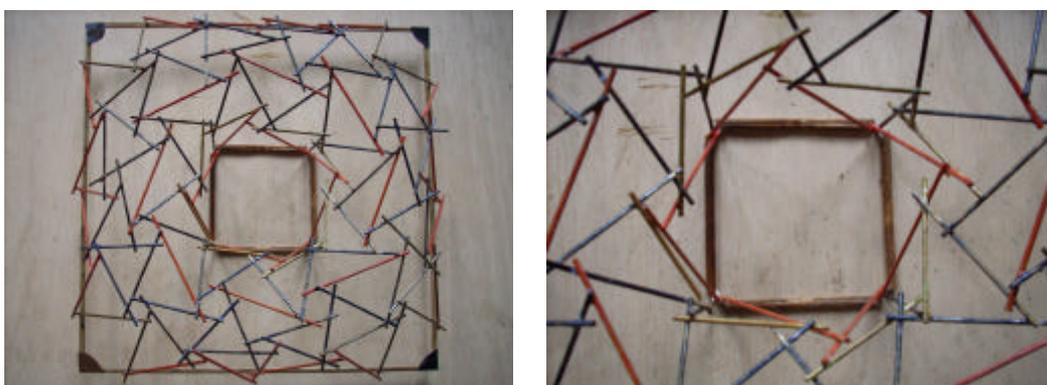


Figura 103 – Modelo 13 em vista superior e detalhe dos giros imperfeitos

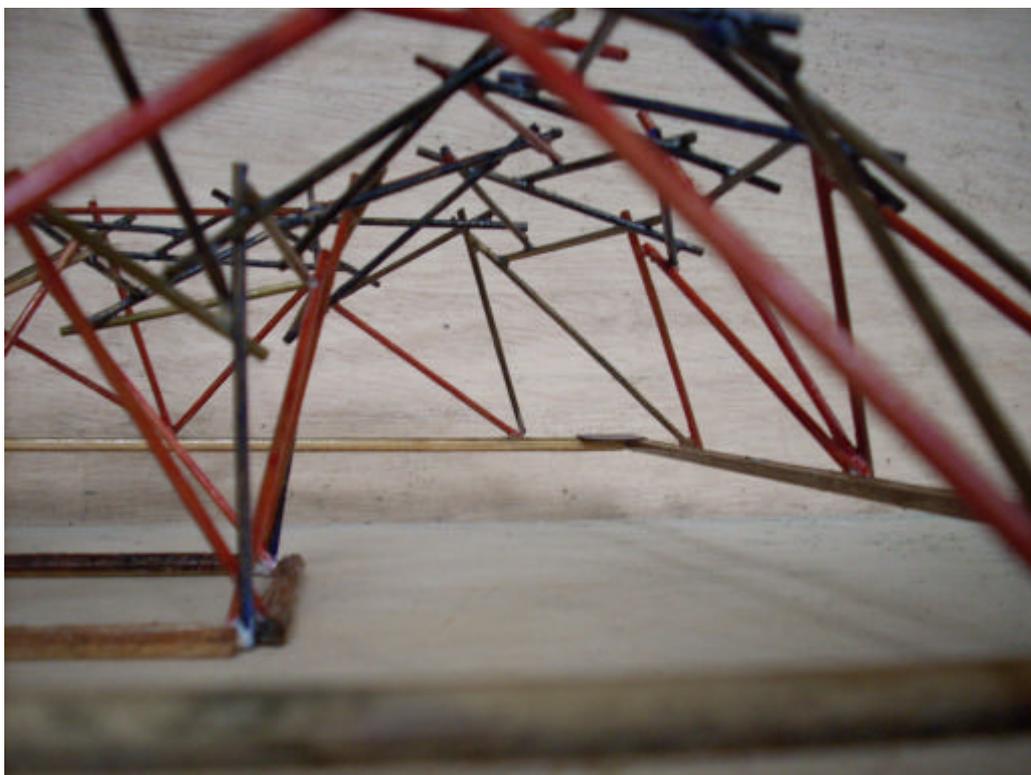


Figura 104 – Vista de fora para dentro da estrutura do modelo 13



Figura 105 - Vista de fora para dentro da estrutura do modelo 13 com escala humana

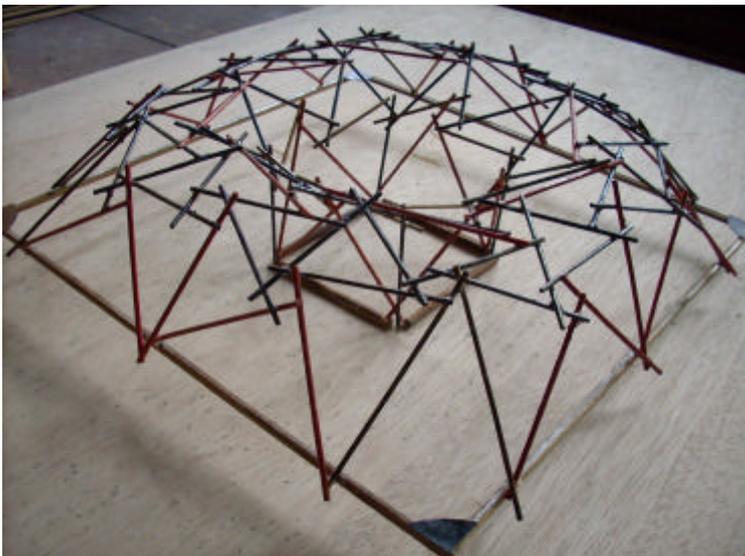


Figura 106 – Perspectiva de toda a estrutura de cobertura do modelo 13

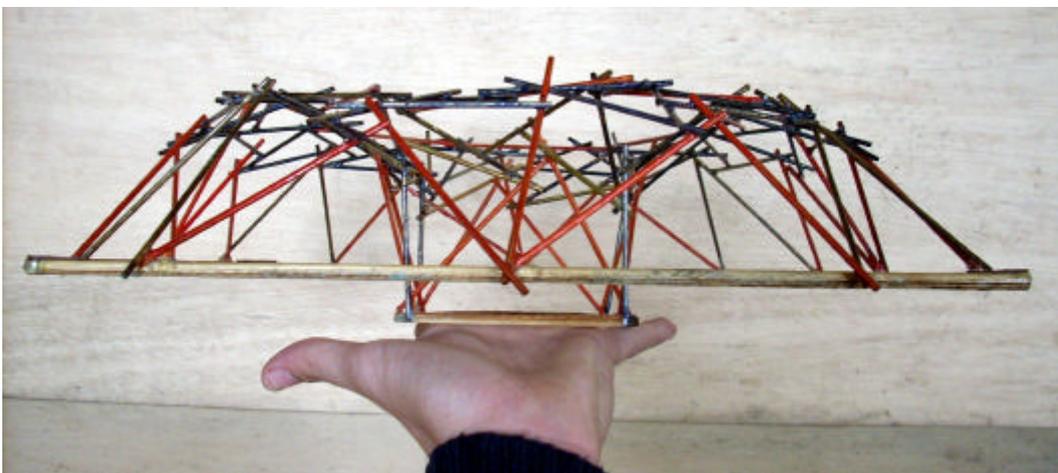


Figura 107 – Vista lateral do modelo 13

## Experimento 14

A partir do problema dos giros imperfeitos encontrado no experimento anterior, destacamos a estrutura central do resto da estrutura de cobertura com o objetivo de refaze-la. Ao invés de ancorarmos a cobertura nas quinas do quadrado central da estrutura metálica, decidimos ancorá-la no meio das barras deste mesmo quadrado. O resultado foi um giro quase perfeito porque tendia a expulsar uma das barras, o que demonstrou que este giro foi forçado e não natural.



Figura 108 – Detalhe da estrutura central e imagens do modelo 14

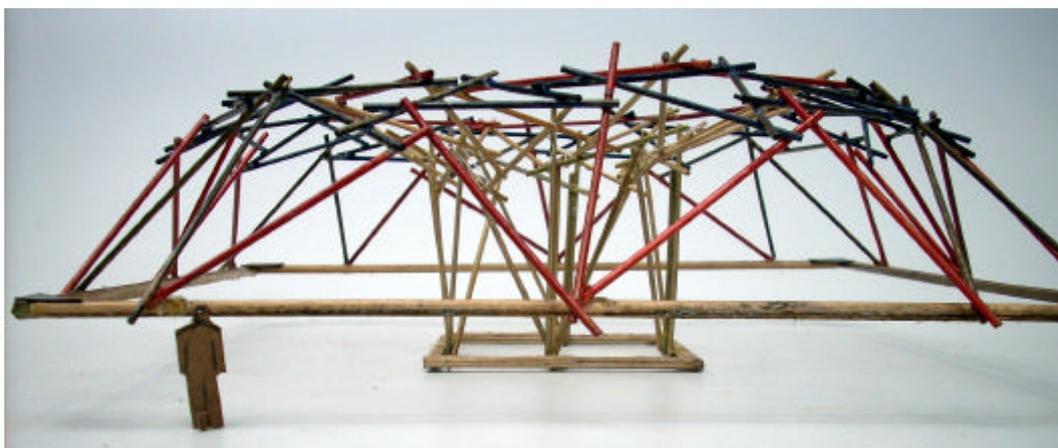


Figura 109 – Vista lateral do modelo 14 com escala humana

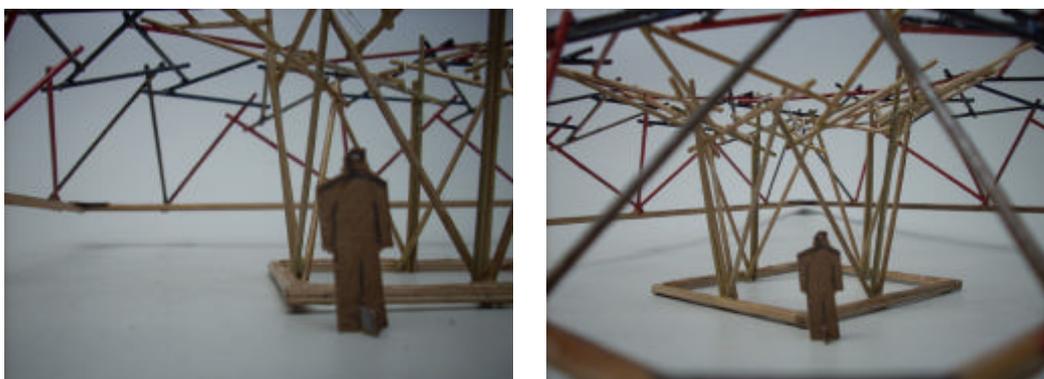


Figura 110 – Vistas de fora para dentro do modelo 14 com escala humana



Figura 111 – Perspectiva do modelo 14

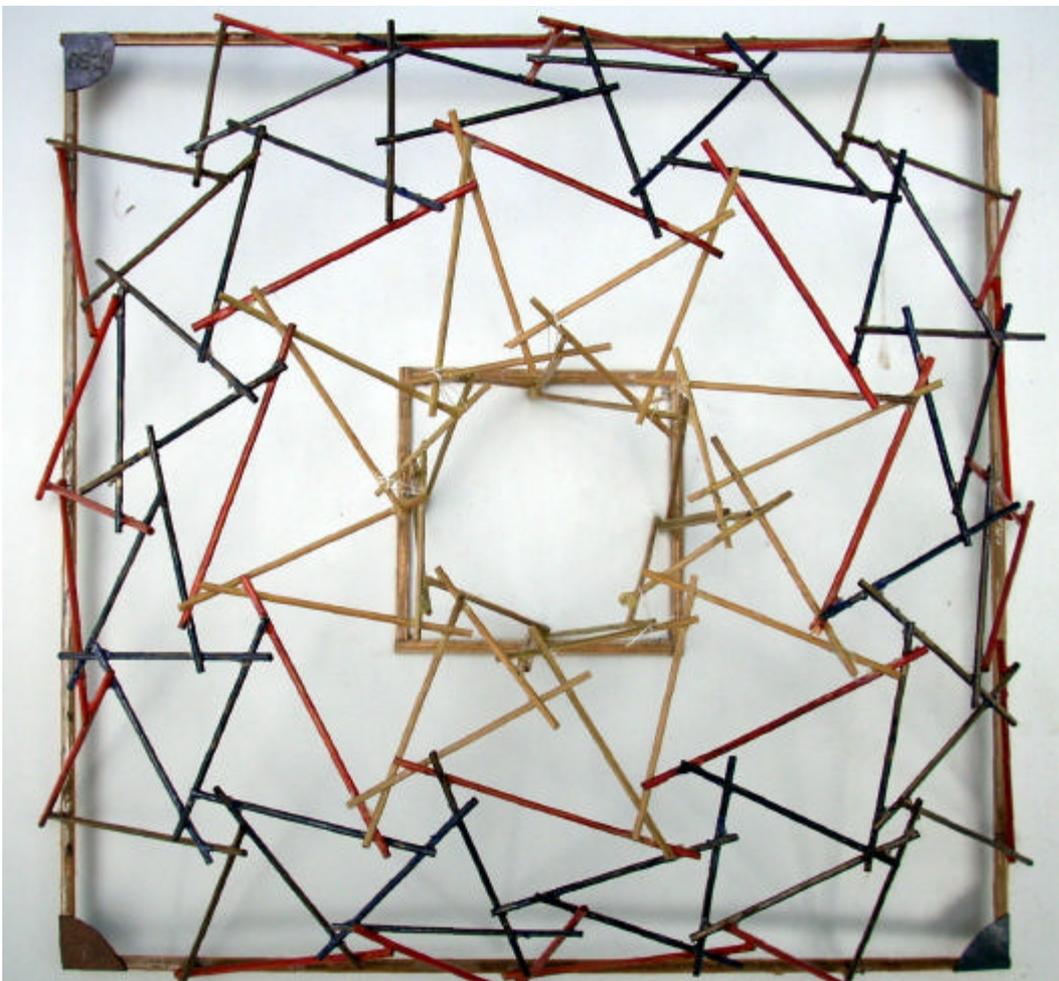


Figura 112 – Vista superior do modelo 14

## Experimento 15

Insatisfeitos com a estrutura central resolvemos partir para mais um modelo montado no dispositivo 1:50. Neste modelo aproveitamos para corrigir pequenas imperfeições na triangulação, movendo alguns suportes com o objetivo de equilibrar o tamanho de algumas barras. Em alguns pontos foi incluída mais uma barra no giro, fazendo com que as figuras poligonais adjacentes ficassem mais equilibradas também. Com relação à estrutura central, tentamos um aro de compressão no meio da estrutura com o objetivo de tentar evitar o giro, porém os resultados estruturais não foram satisfatórios pois a estrutura central nem sempre ficava triangulada.

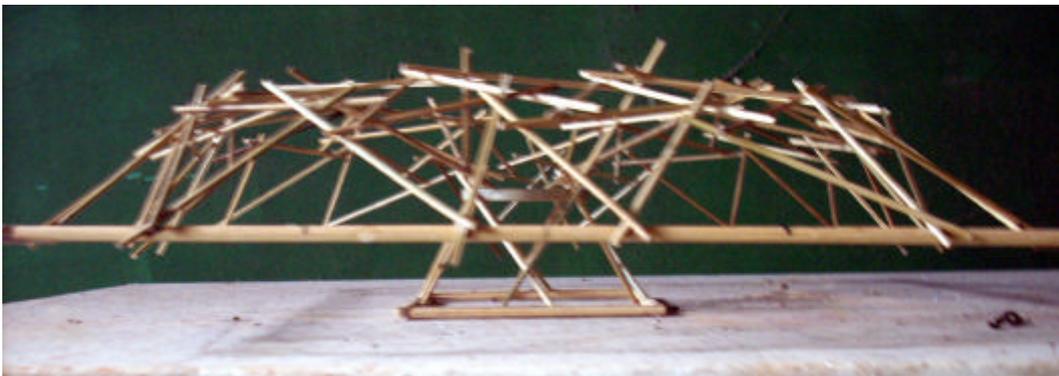


Figura 113 – Vista lateral do modelo 15

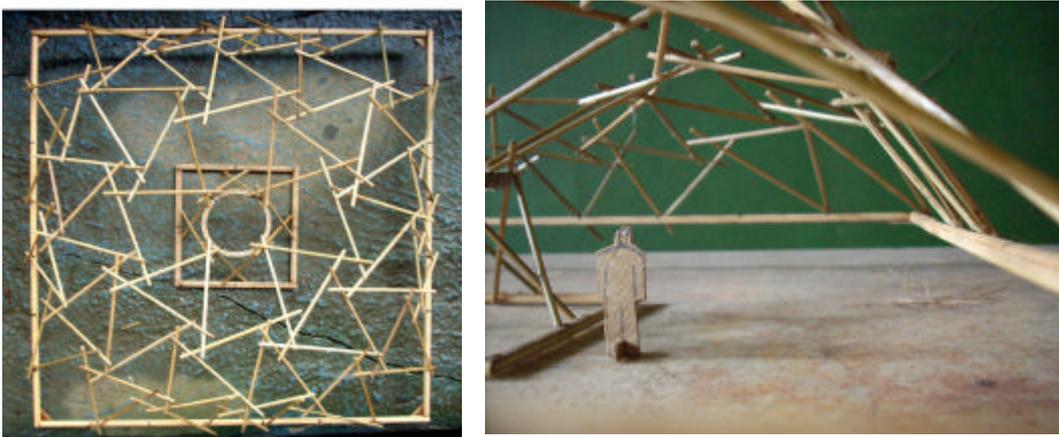


Figura 114 – Vista superior e interior do modelo 15

## Experimento 16

Com o objetivo de testar se o dispositivo estava calibrado, ou seja, se a forma determinada pelos pontos pertencentes à superfície mínima estava correta, resolvemos montar um novo dispositivo. Este dispositivo consistia numa chapa de compensado com furos localizados bem na projeção das juntas onde colocamos palitos de bambu com as pontas pintadas de azul nas alturas já pré-definidas. Em seguida enchemos o dispositivo de areia, limitando a altura da areia pelos pontos azuis no topo das hastes de bambu. O resultado é que a forma nos pareceu muito próxima das superfícies mínimas, o que validou os experimentos com os dispositivos.



Figura 115 – Dispositivo verificador de superfície sendo preenchido de areia



Figura 116 – Detalhe do topo dos bambus pintados pertencentes à superfície



Figura 117 – Dispositivo quase cheio de areia



Figura 118 – Dispositivo cheio de areia



Figura 119 – Forma verificada em dispositivo com areia

## Experimento 17

Com o auxílio das medidas base do projeto, iniciamos a modelagem virtual de algumas possibilidades de outras formas para a cobertura, umas com curvas mais exageradas e outras mais suaves. O objetivo era fazer a forma em fresa CNC do modelo virtual escolhido para posteriormente retirarmos o molde negativo, que seria triangulado com palitos de bambu e depois desmoldado para montagem do giro sobre a estrutura de palitos inicialmente montada. Escolhemos a forma mais exagerada nas curvas pois, se a cobertura funcionasse nesta forma, com certeza funcionaria na mais suave também. O resultado foi que na hora de montar a estrutura com giro, a dupla curvatura da forma atrapalhou o método do giro, que para ser montado necessitou sair das alturas pré-determinadas. Modelos em escala 1:50.

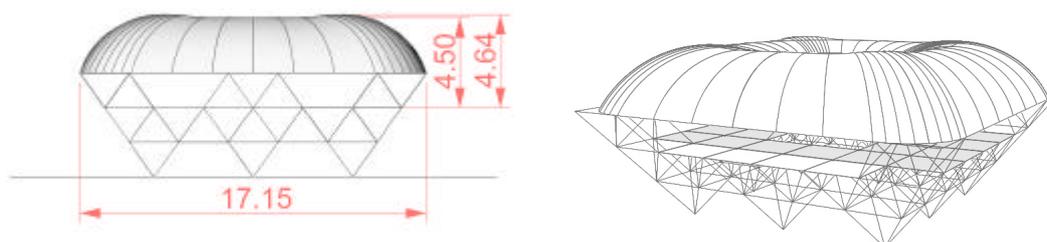


Figura 120 – Modelo virtual com curvas suaves na cobertura

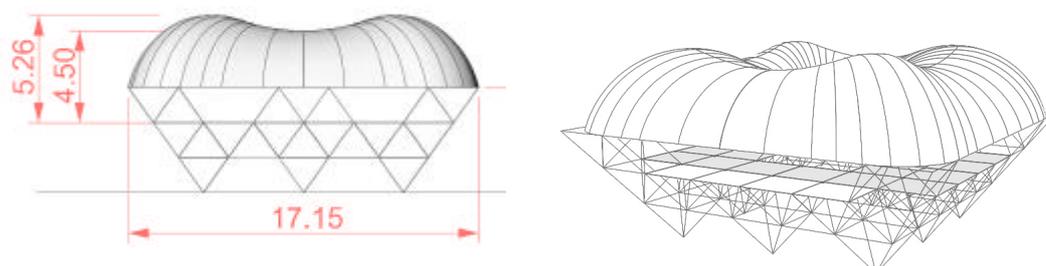


Figura 121 – Modelo virtual escolhido com curvas exageradas na cobertura



Figura 122 – Forma feita em fresa CNC e molde negativo de gesso

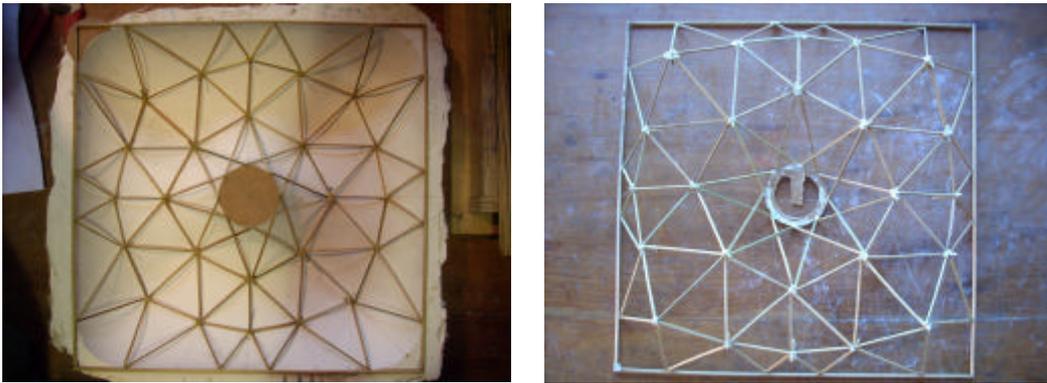


Figura 123 – Triangulação com palitos de bambu e modelo desmoldado

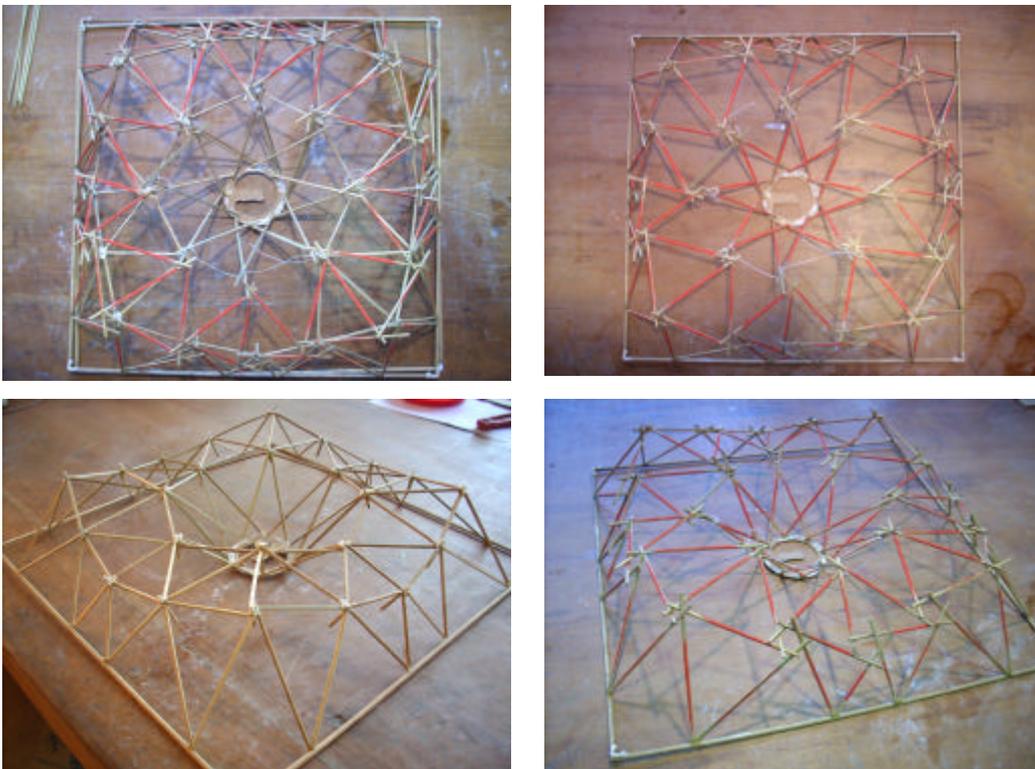


Figura 124 – Modelo em giro sendo montado por cima do modelo que havia sido triangulado no molde negativo e modelos (juntas e giros) isolados

## Experimento 18

Após definirmos que a estrutura central seria mesmo uma estrutura similar às treliças pantográficas, fizemos um modelo em escala 1:50 com o objetivo de compreendermos melhor a montagem desta parte da estrutura de cobertura. Simulamos o uso de tripés temporários para sustentar os bambus da estrutura enquanto eles ainda não estivessem amarrados e estabilizados.

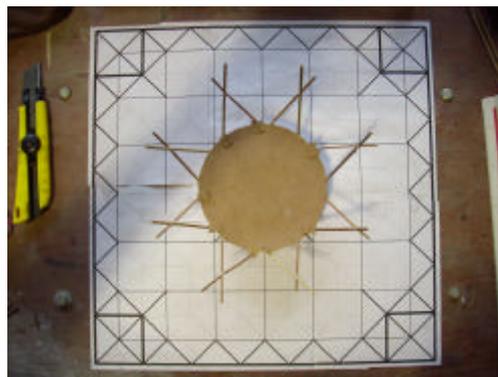
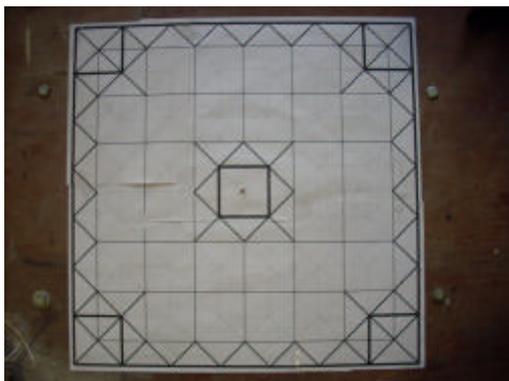


Figura 125 – Passo a passo da montagem da estrutura central

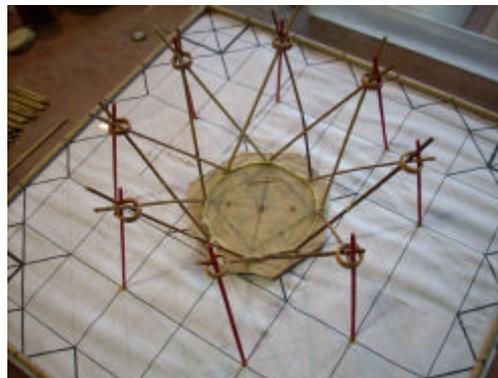


Figura 126 – Detalhe dos tripés temporários

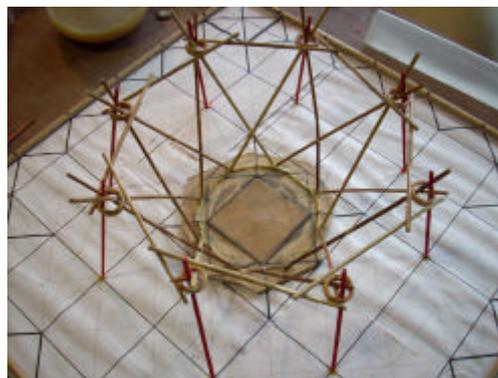
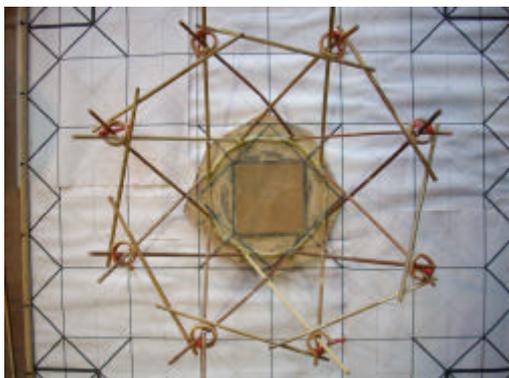


Figura 127 – Montagem da cumeeira e estabilização da estrutura



Figura 128 – Estrutura central montada com o auxílio dos tripés

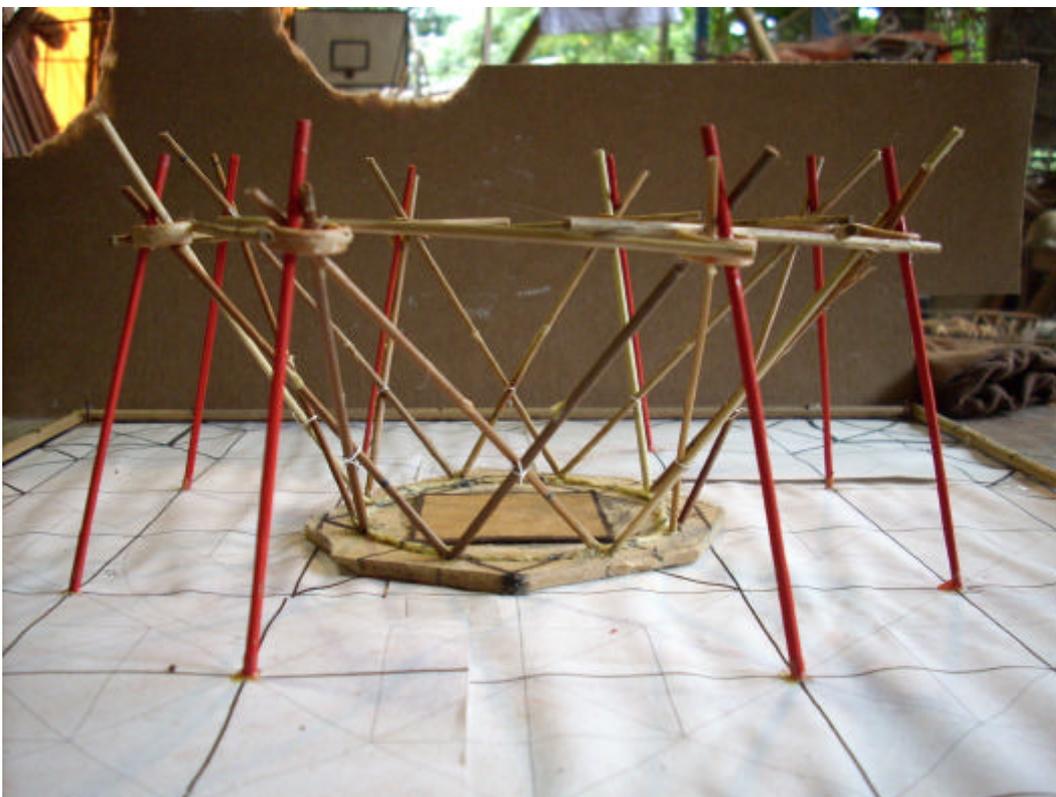


Figura 129 – Estrutura central montada com o auxílio dos tripés

## Experimento 19

Com a montagem da estrutura central definida, só faltava resolvermos a união da estrutura triangulada em giro com a estrutura central, que foi montada de maneira que a cada par de bambus, um fazia parte do giro da cumeeira e o outro passava por dentro do giro, sem participar do mesmo. O resultado foi um modelo em escala 1:50, montado no dispositivo que resolveu a estrutura de cobertura, deixando apenas alguns detalhes para serem resolvidos num próximo experimento de escala maior.

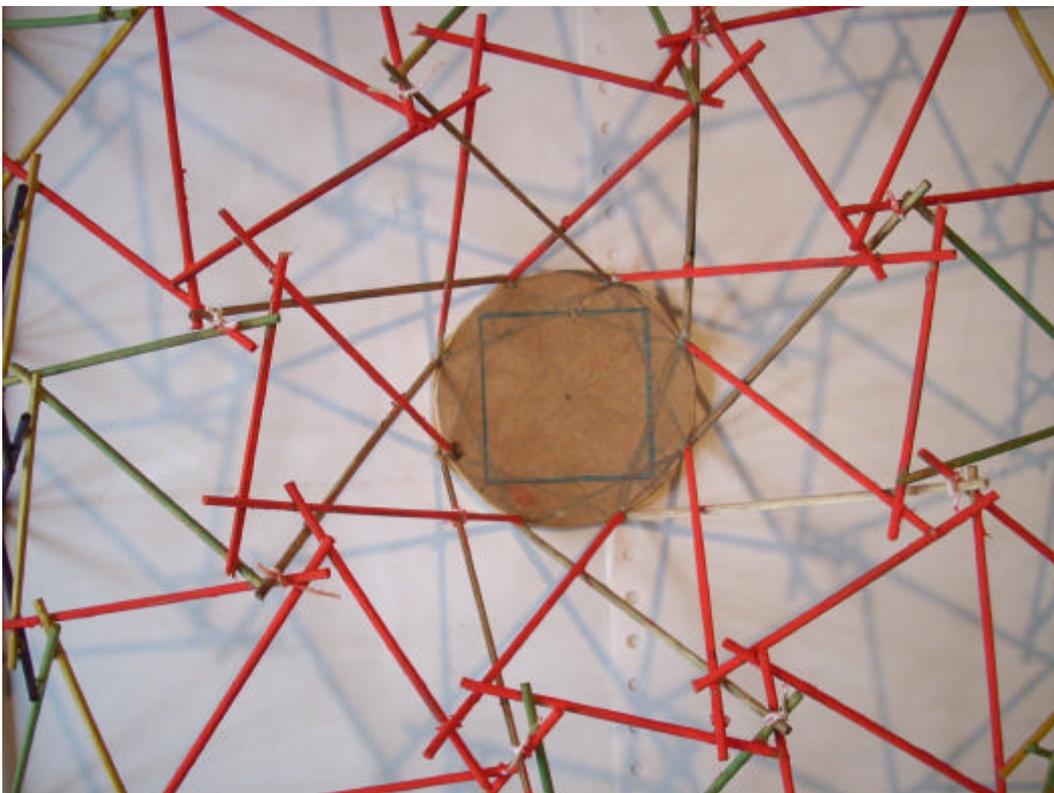


Figura 130 – Estrutura central onde a cada par de bambus, um participa do giro

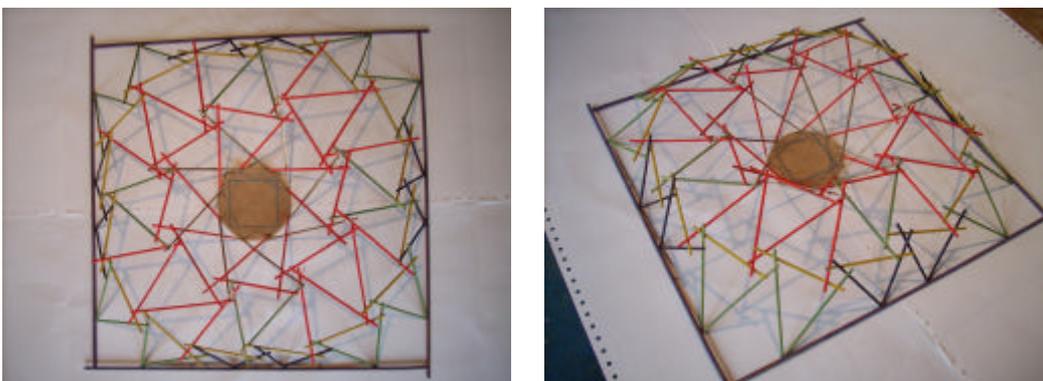


Figura 131 – Estrutura da cobertura do novo laboratório no modelo 19

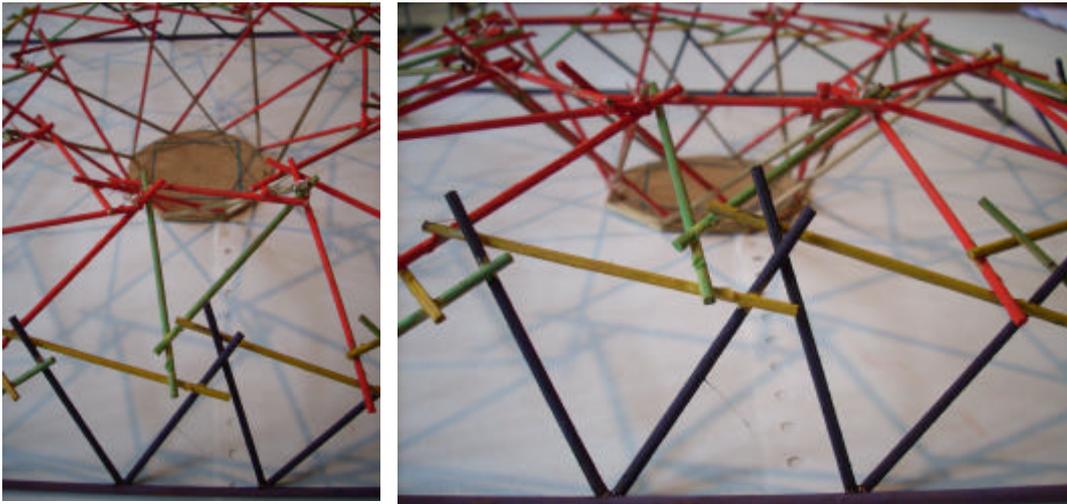


Figura 132 – Detalhes da estrutura do modelo 19

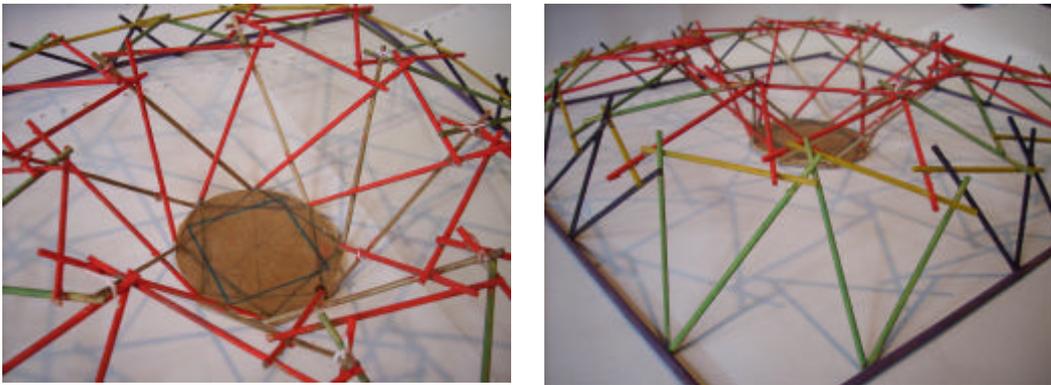


Figura 133 – Detalhes da estrutura central e periférica do modelo 19

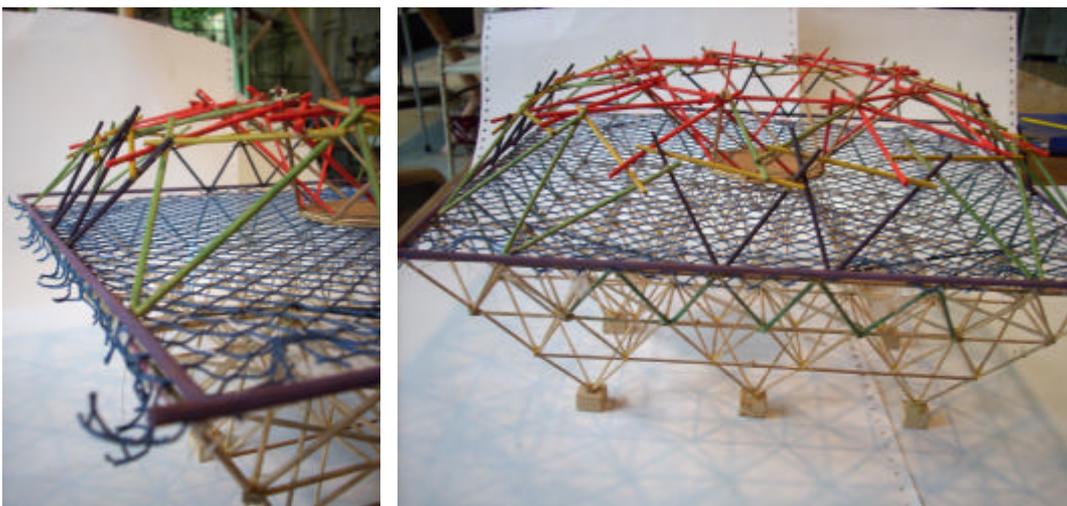


Figura 134 – Estrutura de cobertura por cima da estrutura metálica com detalhe para a rede de proteção simulada para facilitar a montagem

## Experimento 20

Como experimento final decidimos fazer um modelo funcional em escala 1:10 da estrutura de cobertura com o objetivo de corrigir alguns tamanhos de barras, resolver a interface entre bambus e estrutura metálica e definir a abertura dos giros. O experimento 20 serviu também para simularmos novamente a montagem da estrutura central. Para isso foi construído um grande dispositivo 1,70 metro de lado que foi utilizado como base para este grande modelo final.

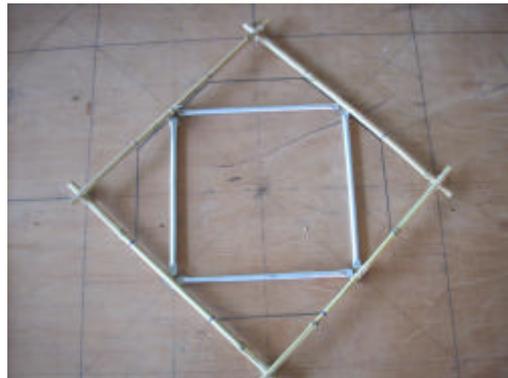


Figura 135 – Base do experimento 20 e detalhe da estrutura metálica com os bambus



Figura 136 – Montagem da estrutura central fora do dispositivo



Figura 137 – Estrutura central montada fora do dispositivo



Figura 138 – Montagem da estrutura central no dispositivo

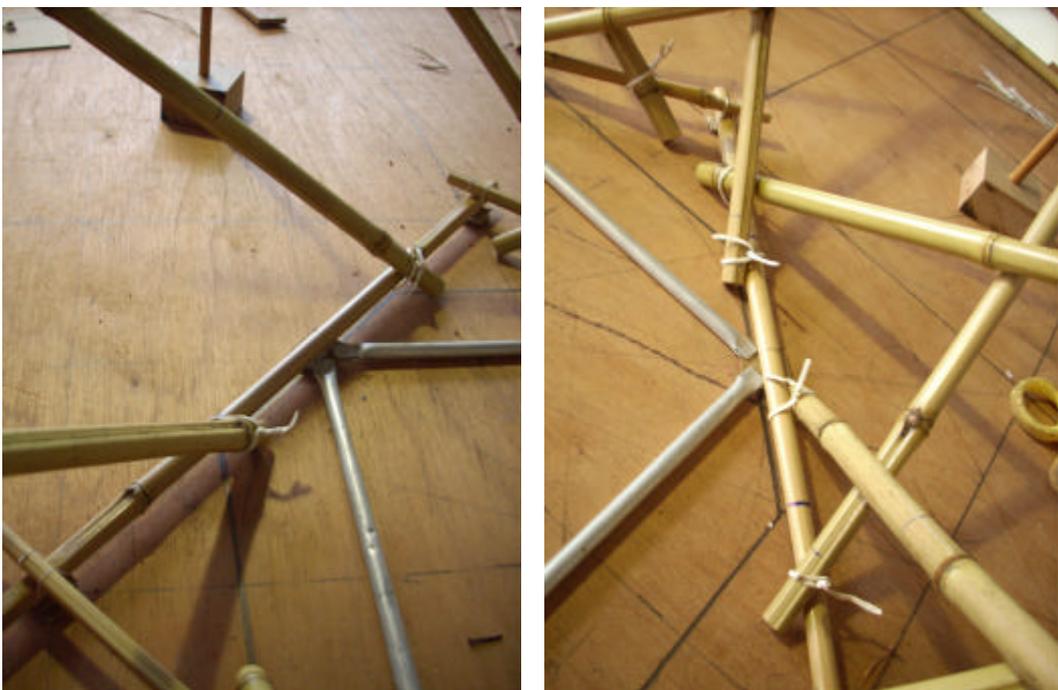


Figura 139 – Detalhes da interface entre estrutura metálica e bambus

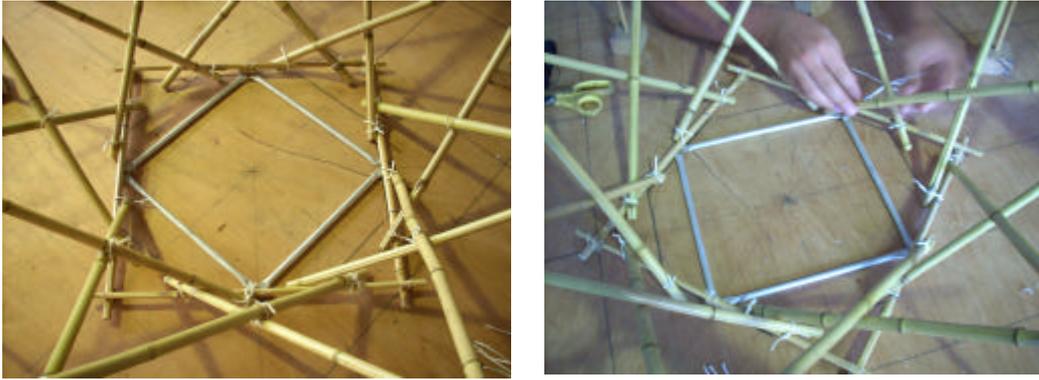


Figura 140 – Detalhe da amarração dos bambus na estrutura metálica

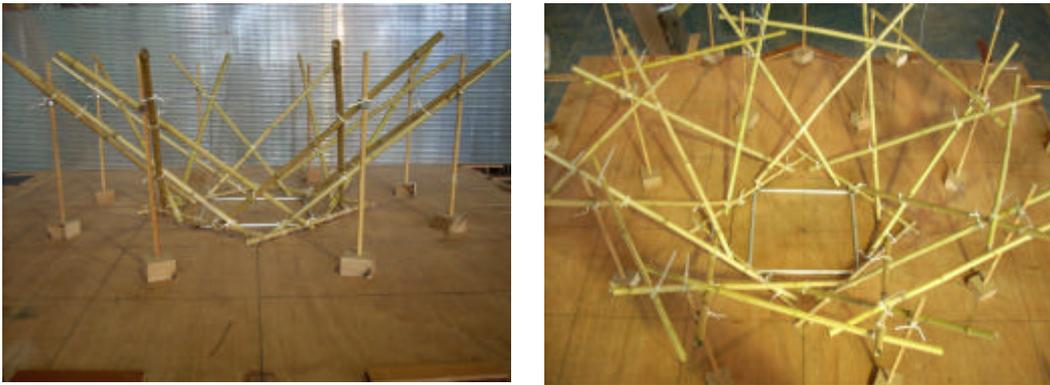


Figura 141 – Estrutura central montada e estrutura central com cumeira

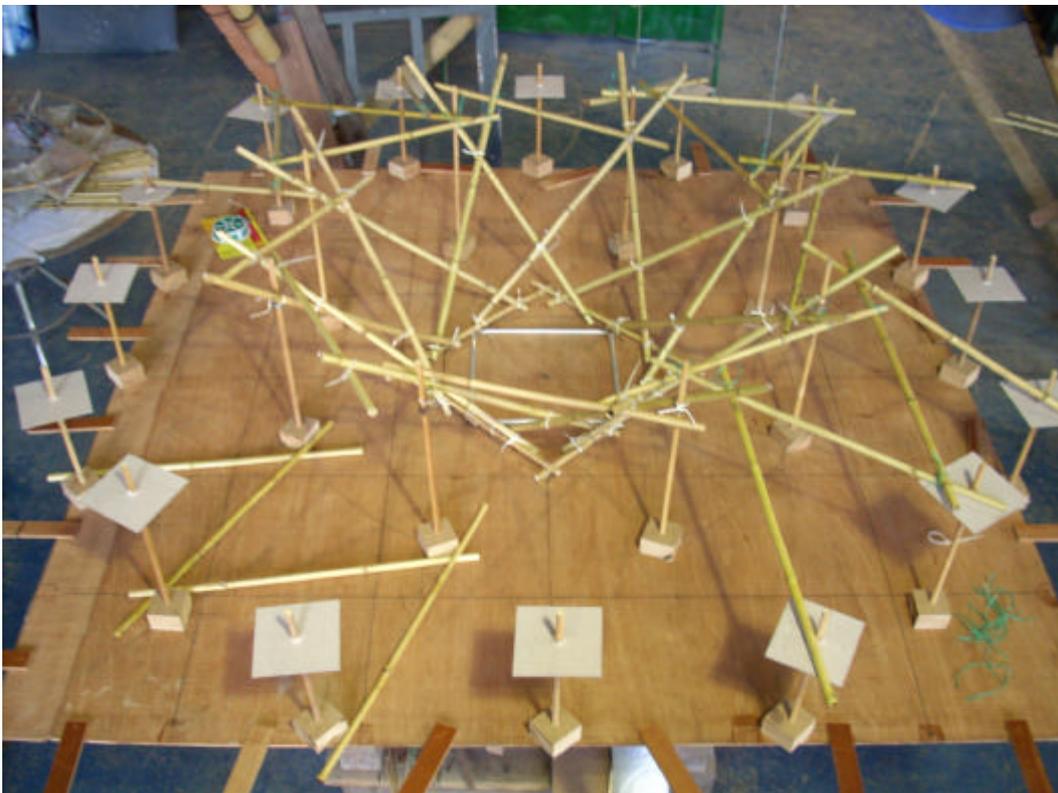


Figura 142 – Estrutura periférica começando a ser montada com o auxílio dos suportes

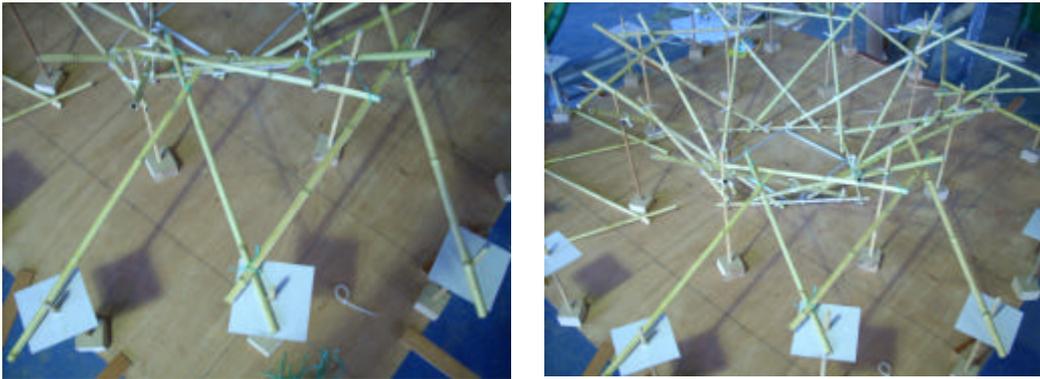


Figura 143 – Detalhe da estrutura periférica sendo montada

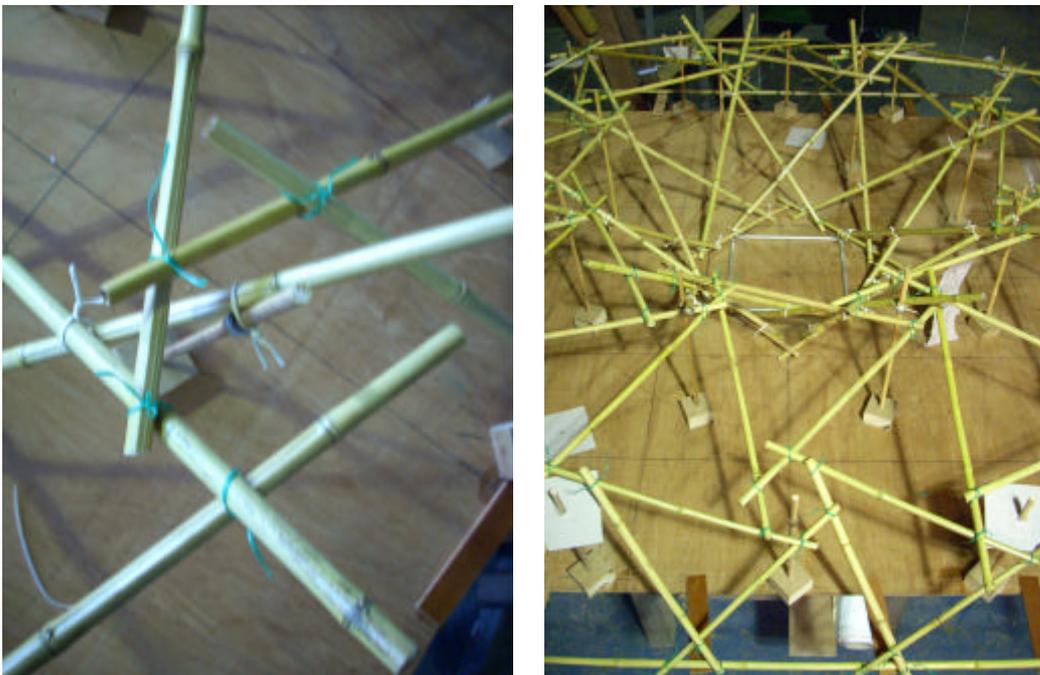


Figura 144 – Detalhe do giro da cumeeira quase completo e modelo completo



Figura 145 – Modelo 20 quase todo montado



Figura 146 – Vista interna do modelo 20 com figura humana



Figura 147 – Ajustando a abertura do giro

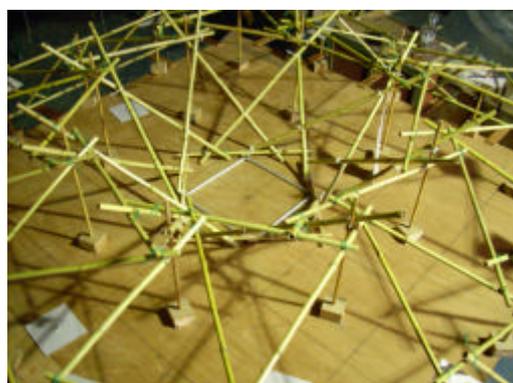
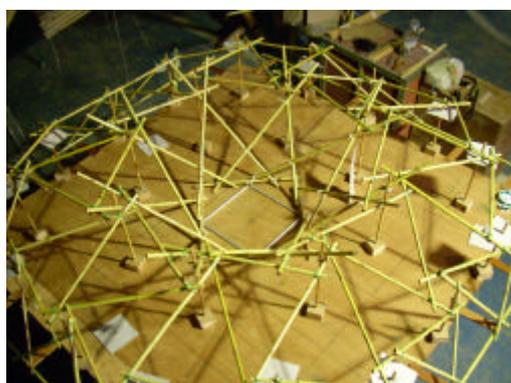
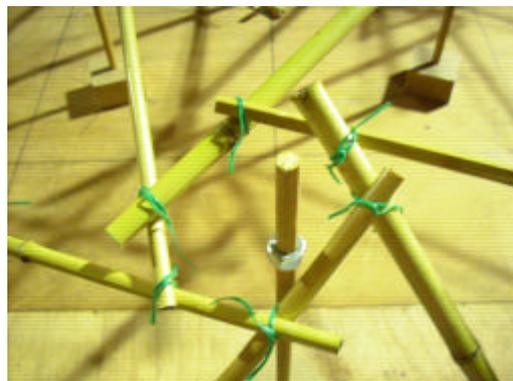


Figura 148 – Modelo 20 quase pronto

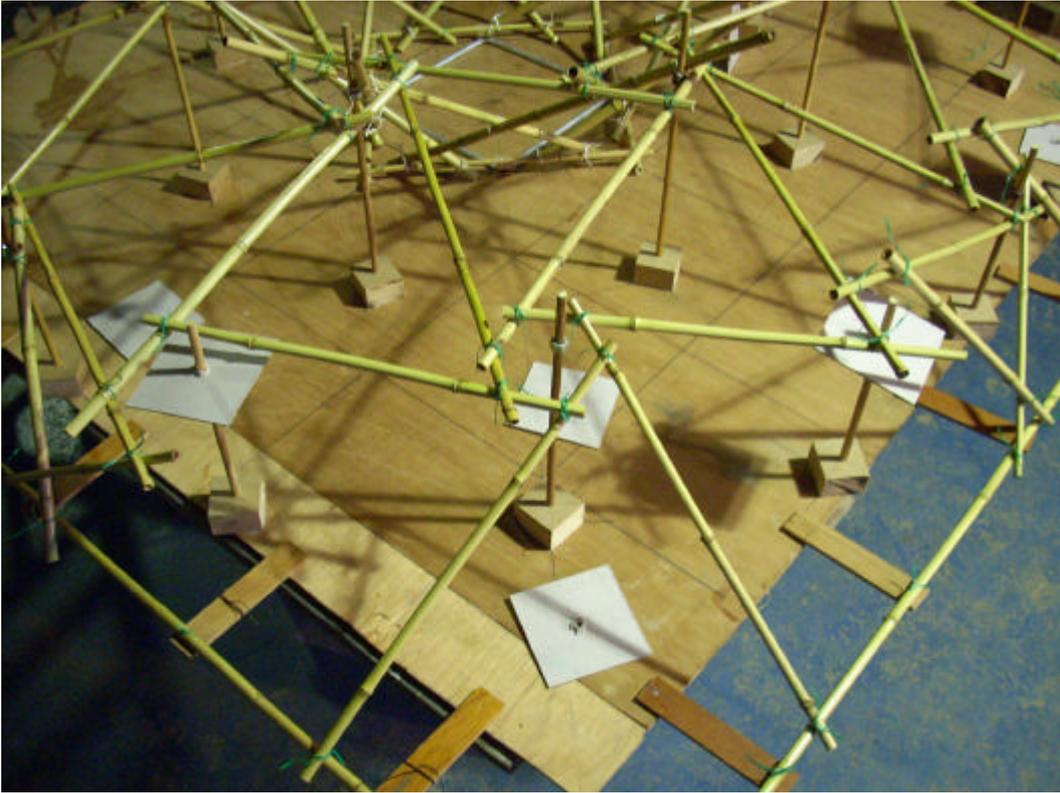


Figura 149 – Detalhe do giro da quina

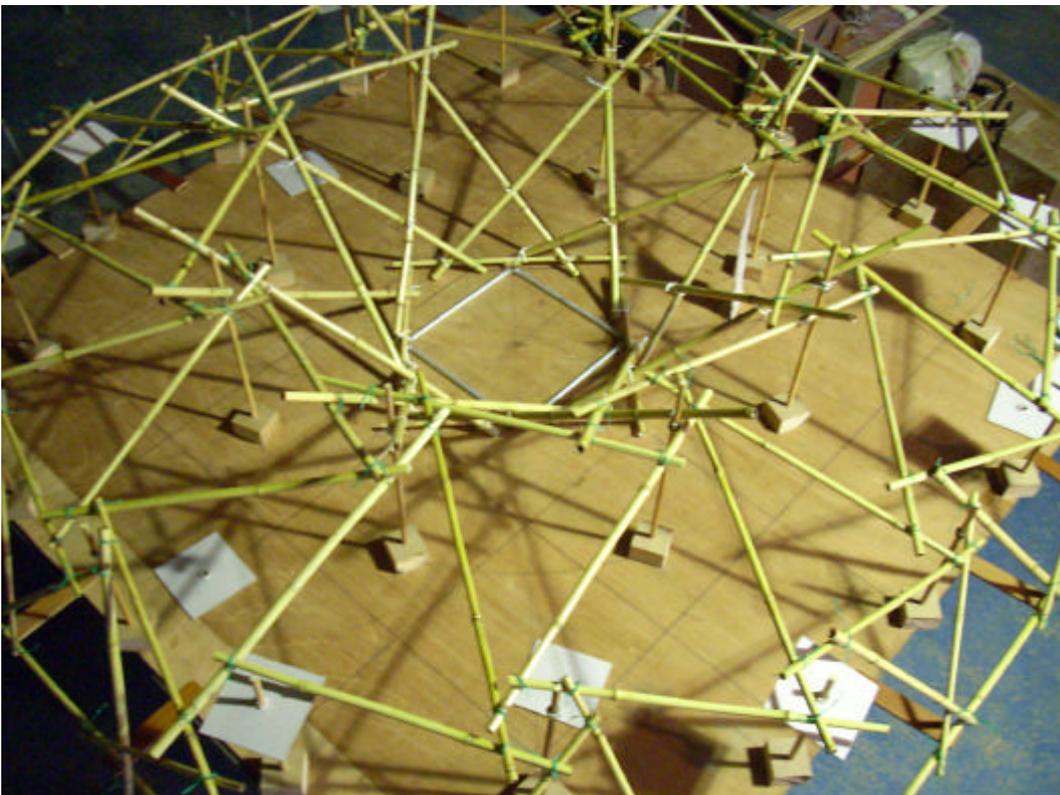
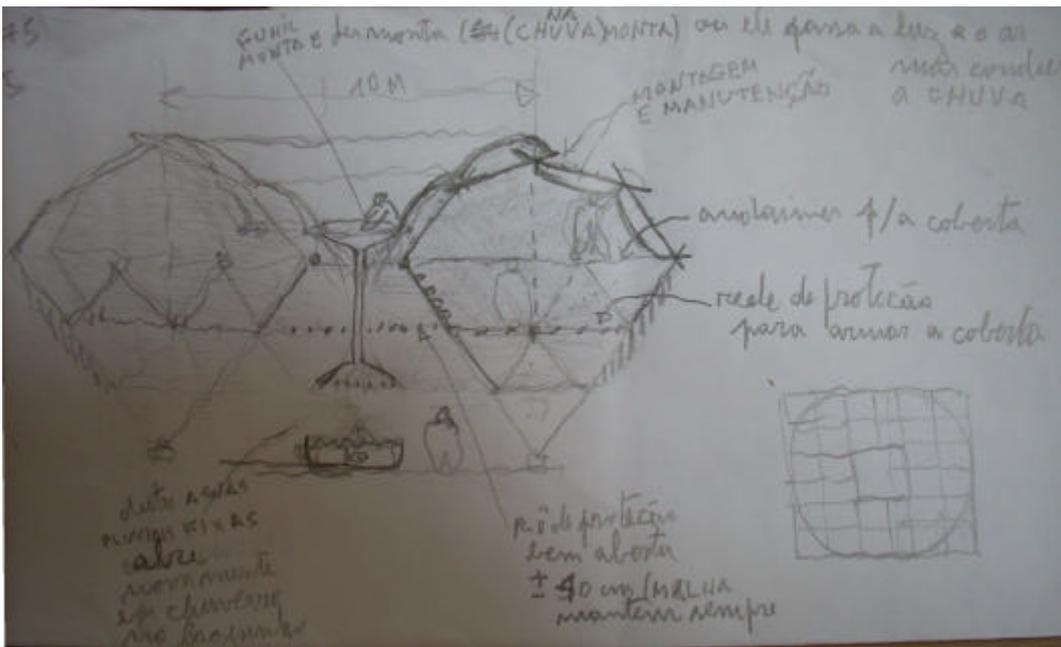
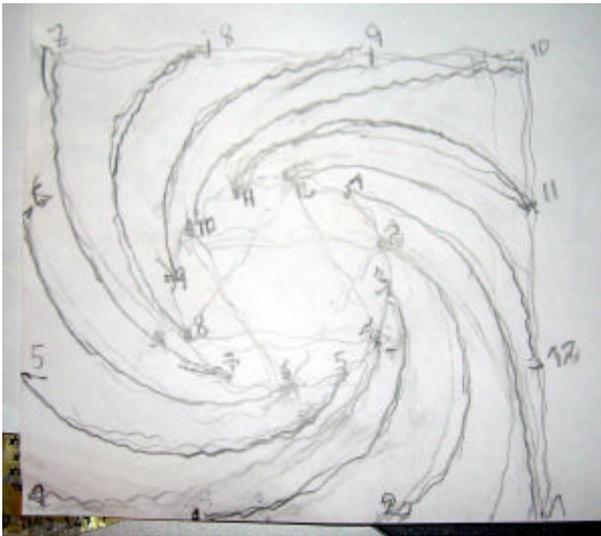


Figura 150 – Modelo 20 em escala 1:10 da estrutura de cobertura do novo LILD

Alguns desenhos do Ripper gerados durante o processo



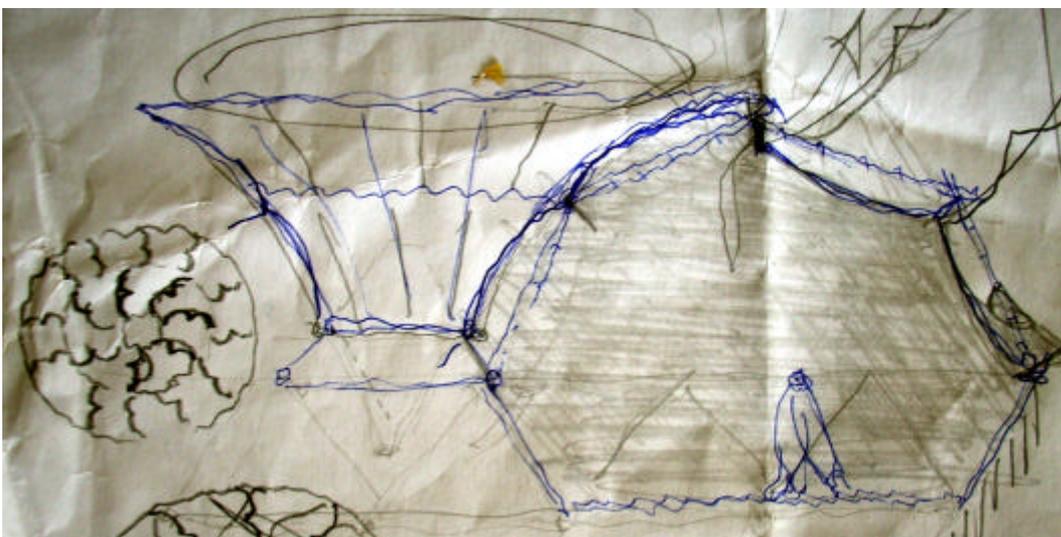
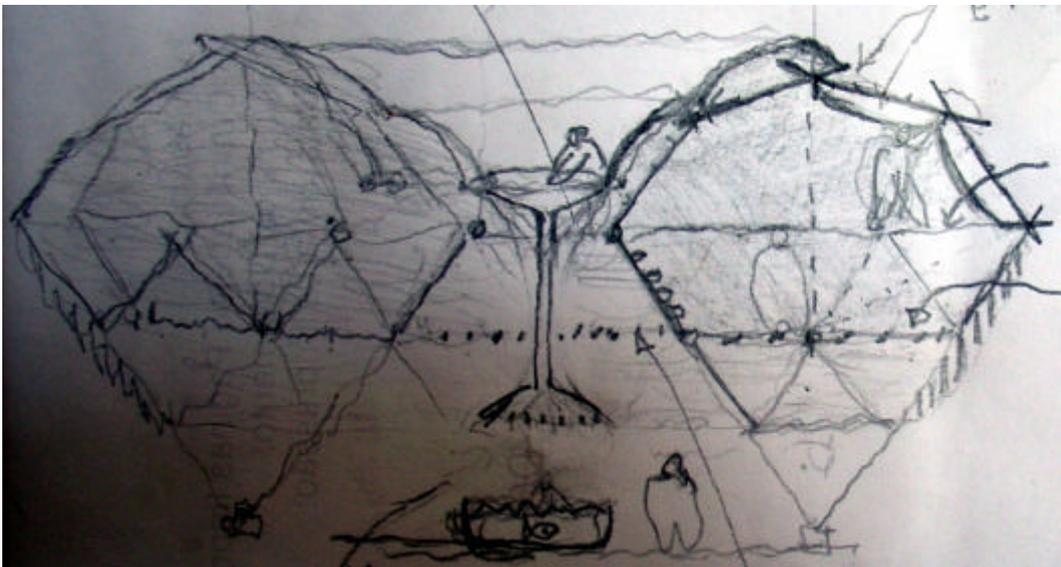


Figura 151 – Desenhos feitos pelo Ripper durante o processo de desenvolvimento

### 3.5

#### Estudo de caso 2 – o domo de Yvy Porã

Em julho de 2008 fiz um curso de Permacultura onde foram trocadas muitas informações sobre técnicas construtivas alternativas como o uso do bambu, barro e fibras naturais geralmente associados à autoconstrução. Conversei com um casal de professores sobre a minha pesquisa e eles me perguntaram se eu me interessava em aplicar a pesquisa numa construção na estação de Permacultura de Yvy Porã, em São Pedro de Alcântara, Santa Catarina. Eu falei que ainda não tínhamos resultados concretos da pesquisa mas eles insistiram que havia bastante bambu na região, gente disposta a trabalhar num mutirão e que se não funcionasse pelo menos poderia trazer resultados para a pesquisa.

Concordei com a proposta e começamos a nos comunicar via internet para iniciarmos o processo de design da estrutura de cobertura da oficina de Yvy Porã. O objetivo era simples: gerar um domo de base quadrada (5x5 metros) para servir de estrutura de cobertura de uma oficina. O domo seria montado com bambus e posteriormente coberto com uma técnica chamada “calfitice” que consiste numa mistura de cal, fibras vegetais, terra e cimento formando uma casca impermeável.

Iniciei o processo de design do domo escolhendo o octaedro como base porque em sua metade ele tem base quadrada, assim como a pretendida. Fiz um modelo do octaedro e logo em seguida fiz um novo modelo com frequência 2v baseado nas tabelas do livro “Geodésicas e Cia”. Em seguida, fiz um terceiro modelo com frequência 3v e por cima deste iniciei o processo de tentar deformá-lo de sua planta circular para um quadrado. Para melhor visualizar o novo domo suas barras de palitos de bambu foram pintadas de azul.

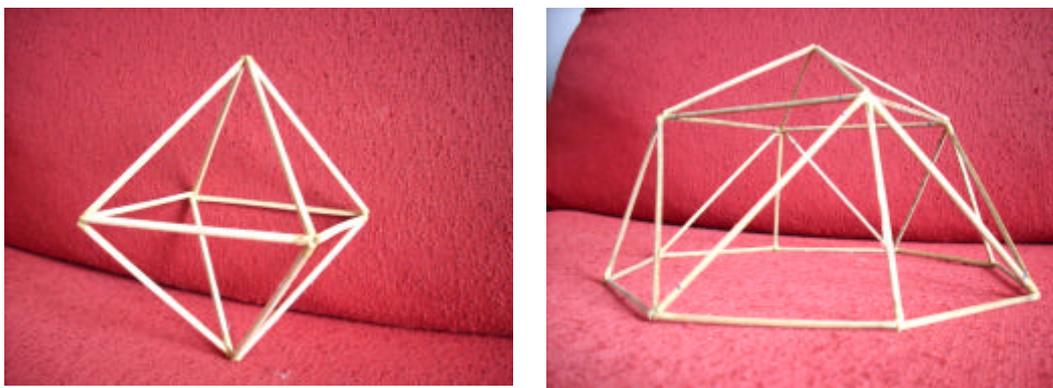


Figura 152 – Octaedro e domo gerado a partir do octaedro frequência 2v

Foram deformadas as figuras hexagonais das quinas, sempre procurando manter barras de tamanhos iguais quando possível.

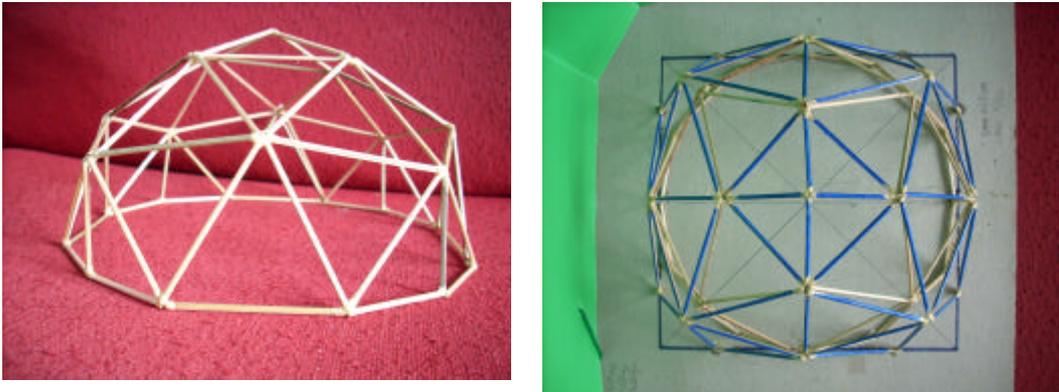


Figura 153 – Domo gerado a partir do octaedro frequência 3v e domo deformado montado por cima do outro

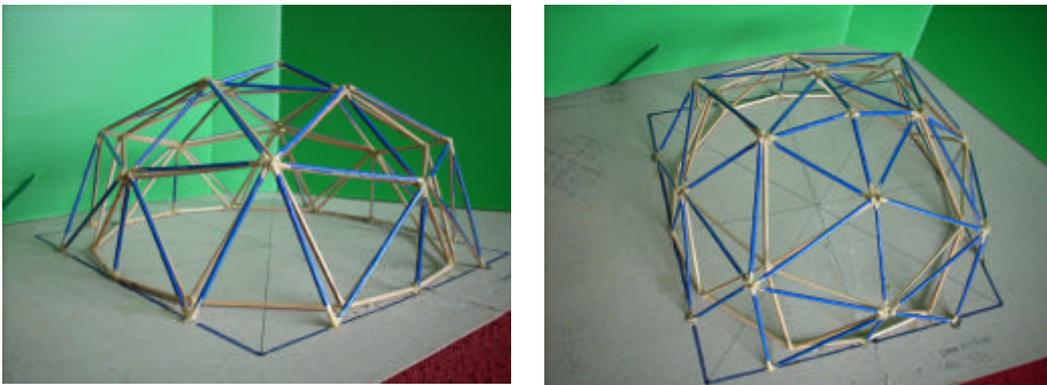


Figura 154 – Domo azul deformado intencionalmente montado sobre domo regular

Não fiquei satisfeito com o domo azul pois achei que ficou muito pontudo em alguns vértices e resolvi fazer outro domo com maior frequência. Montei então um domo regular derivado do octaedro frequência 4v, mas não fiquei satisfeito com o número de barras que praticamente dobrou com a mudança de frequência.

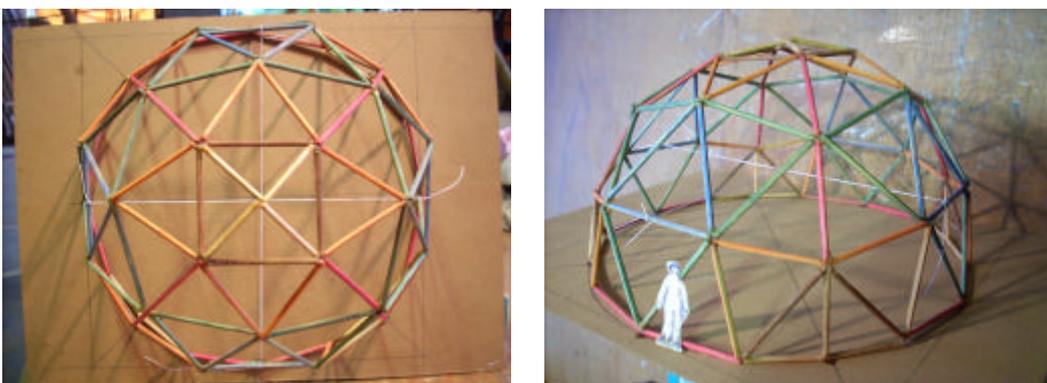


Figura 155 – Domo frequência 4v gerado a partir do octaedro

Mesmo insatisfeito, gerei um modelo virtual do domo 4v já com a base quadrada e elevada do chão por uma mureta. Por continuar com muitas peças (92) para um vão relativamente pequeno (5 metros) achei que os giros ficariam desproporcionais e resolvi voltar ao domo azul deformado a partir do domo regular 3v derivado do octaedro.

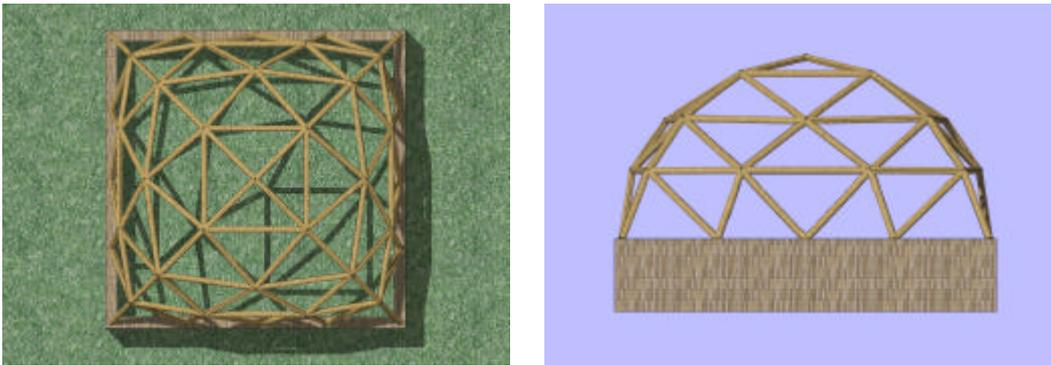


Figura 156 – Modelo virtual com base quadrada e frequência 4v.

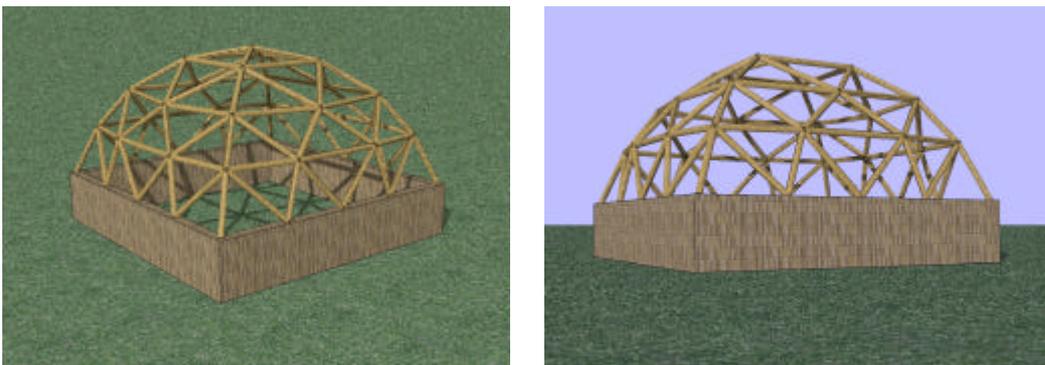


Figura 157 – Modelo virtual com base quadrada e frequência 4v

Voltei então ao domo azul e montei um novo modelo sobre este já com as barras em giro. O resultado foi satisfatório pois as quinas pontudas formadas pelos vértices foram suavizadas pelo giro e o número de peças, 48, foi satisfatório.

Depois foram projetados alguns beirais, semelhantes aos utilizados na capela de Andrelândia, com a finalidade de proteger as possíveis aberturas da construção das chuvas. O projeto ainda não foi finalizado devido à distância e às chuvas no Estado de Santa Catarina, mas o processo de design da estrutura de cobertura da oficina de Yvy Porã foi devidamente documentado.

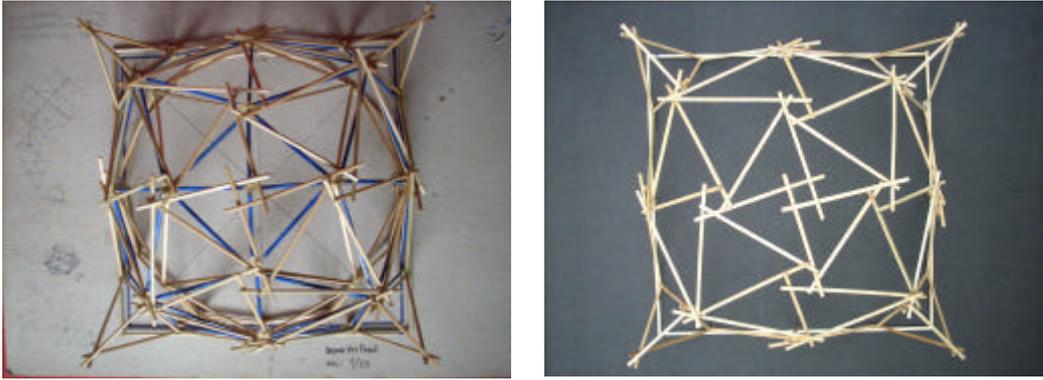


Figura 158 – Domo 3v montado em giro sobre o domo azul deformado intencionalmente

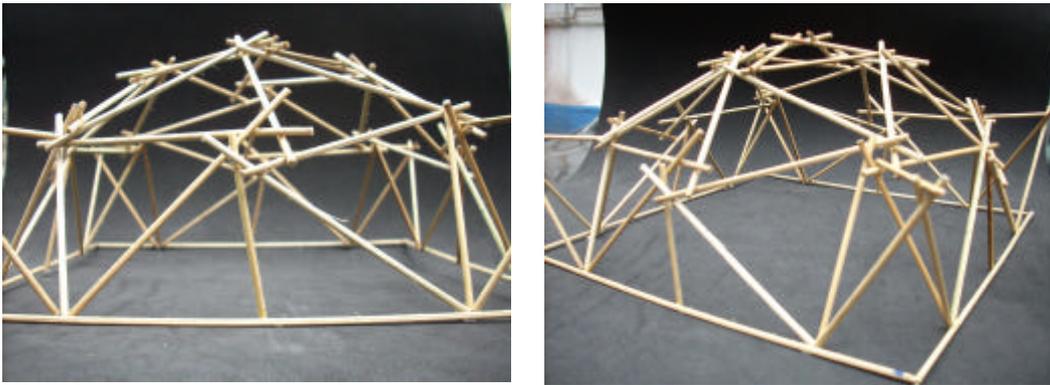


Figura 159 – Estrutura de cobertura da oficina de Yvy Porã

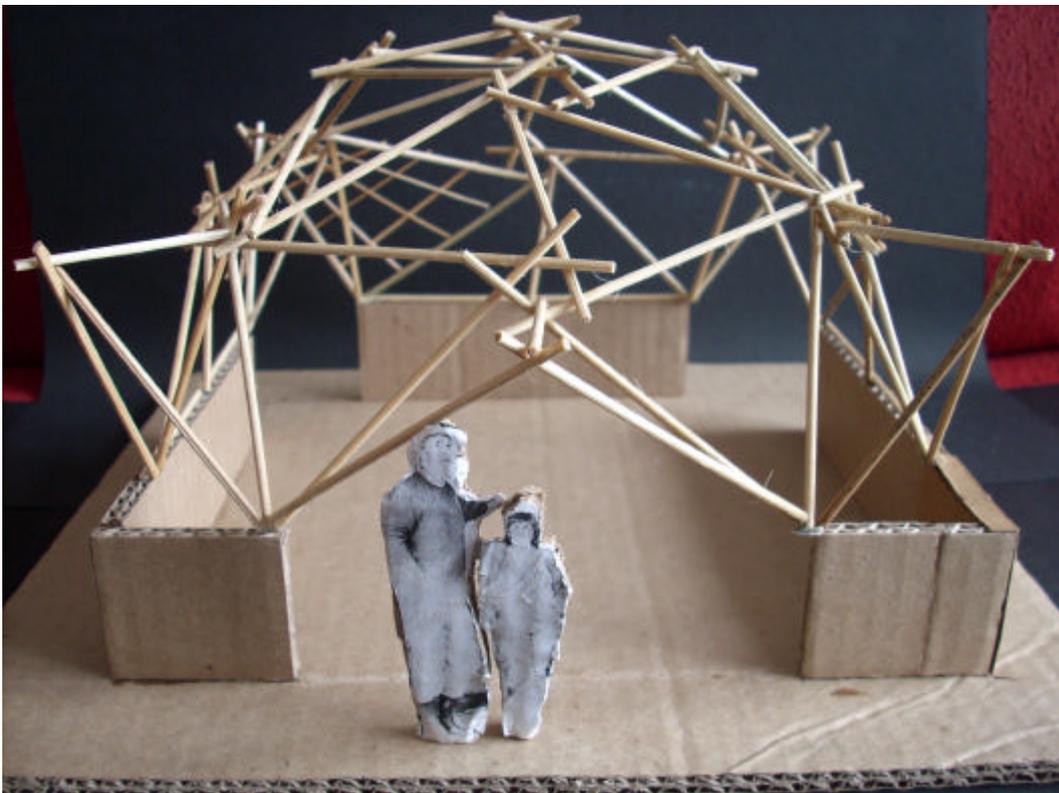


Figura 160 – Modelo em escala 1:50 da oficina de Yvy Porã com beirais projetados

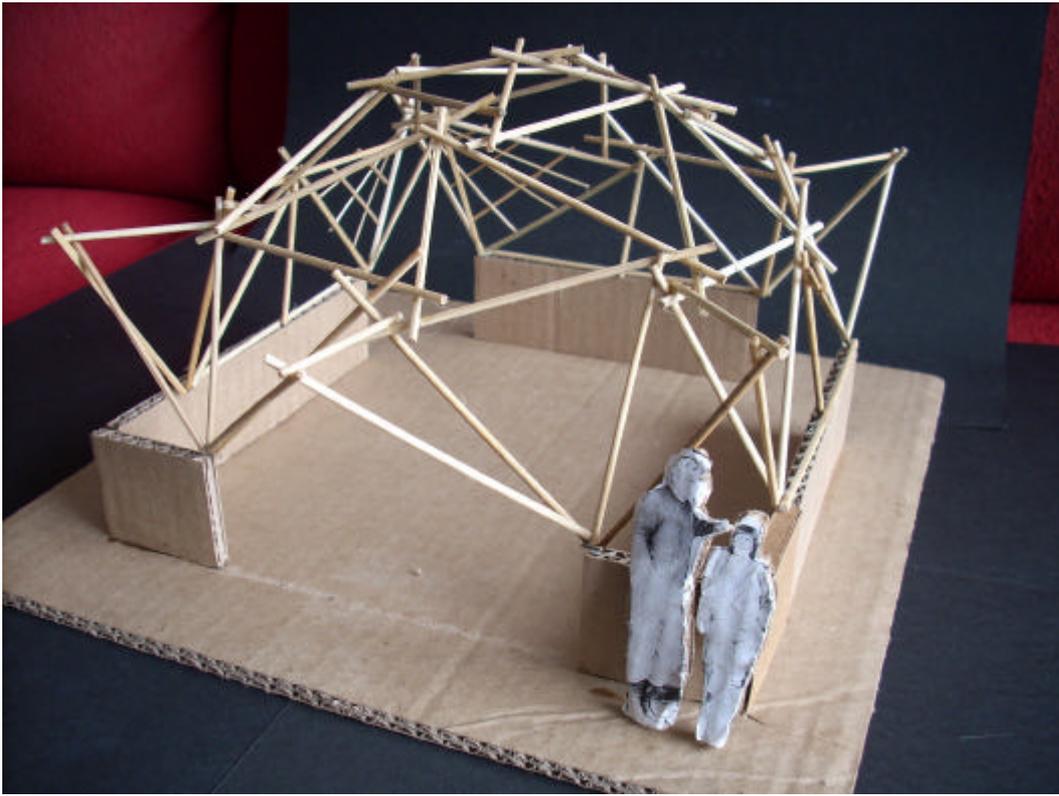


Figura 161 – Modelo em escala 1:50 da oficina de Yvy Porã com beirais projetados