

3. Interações realizadas entre linguagem eletrônica e linguagem mecânica

3.1. Sistemática de análise das interações entre o modelo eletrônico e o modelo físico

Para que fosse possível levantar as possíveis interações entre os diversos tipos de modelos, optamos por iniciar a aplicação da tecnologia de computação gráfica em uma série de ações que vem se desenrolando na pesquisa do laboratório. Tendo em vista a metodologia de tentativa e erro utilizada no LILD, seguimos o desenvolvimento de modelos eletrônicos em paralelo ao desenvolvimento de modelos físicos e de uso, para que, dessa forma, fosse possível analisar as contribuições de cada linguagem, eletrônica e mecânica, de uma maneira clara e isenta. Os pesquisadores responsáveis por cada uma dessas linguagens, eletrônica e física/de uso, são, no caso, diferentes, de modo que, o diálogo entre ambos os atores vem apontando claramente os diálogos necessários entre as modalidades de um modelo e os pontos em que ambas interagem.

Desse modo, resolvemos utilizar modelos eletrônicos de maneira sistemática no método de pesquisa do laboratório. Aplicamos tais modelos nas principais pesquisas em andamento no laboratório até aquele momento, porém, optamos por apresentar aqui apenas duas, sobre as quais produzimos mais material. Essas duas foram também chave pelo fato de terem sido concretizadas em modelos em escala 1:1, ou seja, em estado de uso.

Além dessas pesquisas, os modelos eletrônicos também foram aplicados em projetos acadêmicos e pessoais, que tiveram origem nas tecnologias desenvolvidas no laboratório. Essas aplicações foram importantes no sentido de observar as interações nessas tecnologias que fazem parte do repertório técnico do LILD, mas que, nesse momento estão latentes, ou seja, não estão em estudo em nenhuma das pesquisas vigentes; porém, podem, a qualquer momento, ser acionadas em novas ações desse laboratório. Imagens desses projetos, assim como das demais pesquisas em andamento, podem ser vistas nos anexos desse trabalho.

A primeira pesquisa na qual utilizamos a computação gráfica foram nos estudos que vem sendo feitos para a montagem do novo espaço físico do laboratório no campus da PUC-Rio. Os estudos de concepção e montagem das diversas partes constituintes do laboratório vêm sendo conduzidos paralelamente, com o intuito de agilizar o processo de concretização. A parte da construção em que nos detivemos mais foi a cobertura.

Continuando a pesquisa que vinha sendo feita, introduzimos a tecnologia computacional gráfica ainda no desenvolvimento de tal cobertura, até o momento sua concretização, cobrindo assim a maior parte do processo de realização desse estudo. Outro ponto dessa pesquisa em que estamos aplicando a computação gráfica é no desenvolvimento do piso do novo espaço do laboratório. Apesar de até o instante atual este ponto não estar concretizado como a cobertura, vários modelos de estudo vem sendo confeccionados e analisados com o apoio do desenho eletrônico. Ainda relativo à pesquisa do desenvolvimento do novo LILD, está o estudo do fechamento lateral da estrutura básica da construção. Ainda em estado bastante inicial, a tecnologia CAD vem sendo aplicada como apoio a determinação formal da mesma. Uma quarta parte desse estudo se refere à estrutura metálica do novo espaço.



Figura 34- modelo eletrônico e de uso da cobertura do novo LILD

A segunda pesquisa contemplada pela aplicação de modelos eletrônicos foi a relativa ao Domo de Yvy Porã. Trata-se da cobertura de uma oficina experimental em uma estação de permacultura localizada em São Pedro de Alcântara, Santa Catarina, cuja tecnologia de domo geodésico de bambu amarrado – desenvolvida pelo LILD - fora adaptada a uma base quadrada.



Figura 35 - modelo eletrônico e modelo de uso do domo de Yvy Porã

3.2. Uma primeira reflexão

No início de 2008, durante os esboços para a construção do novo laboratório, foi iniciada uma série de estudos sobre cascas para a confecção da cobertura de tal estrutura. Como visto em Campos (2009), as pesquisas iniciaram-se com a confecção de modelos baseados na inversão de forças: formas obtidas sobre esforços de tração que, ao serem invertidas, funcionam à compressão.

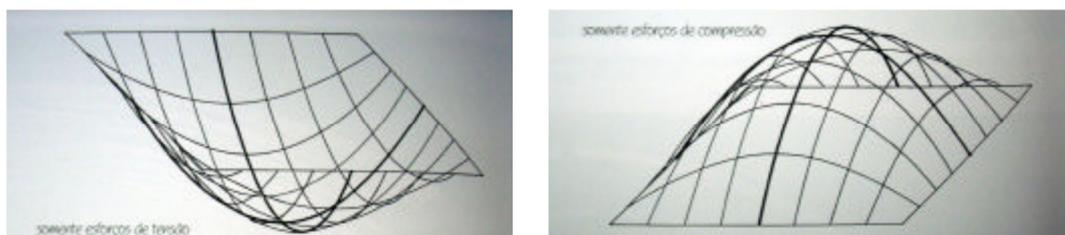


Figura 36 - Inversão de Esforços - tração e compressão - (ENGEL, 2003).

A partir de um primeiro modelo, em escala 1:50, obtido através desse princípio (experimento 1 de campos), uma série de outros, em escala menor, foram confeccionados. Durante a confecção destes, uma nova forma surgiu devido a uma característica peculiar do dispositivo montado para a obtenção da forma inicial, assim como, os materiais utilizados nesse processo. Com o intuito de limitar a altura em relação à base da forma, o dispositivo (figura 37) contava com um pino, que serviria para impedir que o material ultrapassasse aquele nível. Quando da utilização, percebeu-se que o processo não ocorreu exatamente dessa forma.



Figura 37 - Dispositivo para obtenção de modelos em escala menor - (CAMPOS, 2009).

A malha utilizada para a obtenção desse modelo era um tecido muito elástico, que, com o peso do gesso, que fora derramado, não respeitou tal limite – que analisado posteriormente, percebe-se que era um limite pontual – gerando uma forma diferente da esperada: o centro apoiou-se no pino limitador, ficando com a altura desejada, enquanto o resto, por efeito da gravidade, continuou descendo até o limite de equilíbrio entre a elasticidade do tecido, e o peso do gesso suportado, formando uma espécie de “umbigo”.



Figura 38 - Modelo resultante - (CAMPOS, 2009).

Apesar de inesperada, essa forma – ou algo parecido com ela – já havia sido vista pelo prof. Ripper nos trabalhos de Frei Otto (1967, p. 90), arquiteto ícone na utilização de estruturas leves. Desse modo, optou-se por explorar mais essa geometria, que apresentava ganhos em relação à anterior:

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. (CAMPOS, 2009, p. 71)

Foi feito, então, mais um modelo, dessa vez em escala 1:50, como o primeiro, para que fosse possível uma melhor análise da forma incidental. Utilizando-se o dispositivo confeccionado para a obtenção do primeiro modelo (figura 39), ancorou-se o centro com um copo – fazendo às vezes do pino do dispositivo menor (figura 38) – obtendo uma forma muito parecida com aquela do modelo em escala reduzida (figura 38).



Figura 39 - Dispositivo utilizado para a obtenção da forma inicial, e deformado para a obtenção da forma incidental - (CAMPOS, 2009).



Figura 40 - Modelo 1:50 baseado na forma incidental – (CAMPOS, 2009).

Dessa maneira, ao analisarmos esse processo de confecção, é possível estabelecer clara analogia à comparação que Engel (2003, p. 71) estabelece entre um reservatório de membrana apoiada e uma estrutura pneumática, retornando ao que nos mostra a figura 35.

Engel nos aponta que, em uma estrutura pneumática, o aumento da pressão interna não apenas sustenta o envoltório espacial, como também, submete a membrana a esforços que impedem deformações por cargas assimétricas. Dessa forma, “a redistribuição das forças pela membrana, por consequência, envolve apenas resultantes centrífugas, analogamente à ação que sofre um reservatório que está exposto apenas à pressão de seu conteúdo (líquido, sólidos granulados)” (ENGEL, 2003, p. 98)

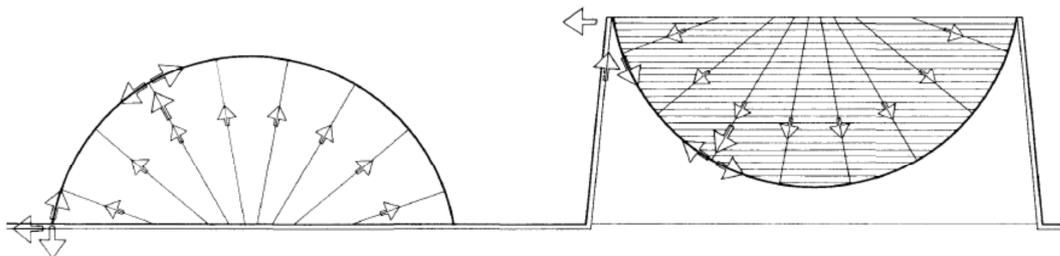


Figura 41 - Esquema de forças atuantes em uma estrutura pneumática e em um reservatório de membrana apoiada - (ENGEL, 2003).

Destarte, optou-se por iniciar o estudo de geometrias infladas, ou seja, pneumáticas, visto que:

A resistência às deformações acontecem graças ao fechamento hermético do ar e a força tensora da membrana. A forma estrutural pode deformar-se apenas com a perda de volume ou aumento da superfície, de forma contrária à membrana pendurada de reservatório, na qual o conteúdo pode escapar pela parte aberta (superior), permitindo assim a deformação. (ENGEL, 2003, p. 98)

Além disso, é observado também nos estudos de Frei Otto (1967), e posteriormente, Engel (2003) que a forma, que estamos chamando, incidental, é um tanto quanto interessante ao fim proposto, entendendo que com o fato de existir uma ancoragem central - não apenas no perímetro da forma – reduz-se não só o raio de curvatura dela, como também, as tensões na membrana, facilitando assim, a cobertura de grandes vãos sem a necessidade de aumentar a altura da estrutura (figura 42 e 43).

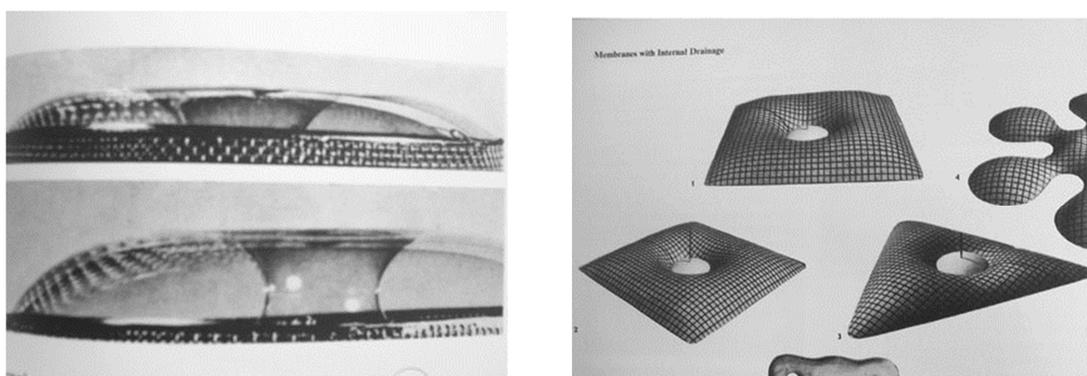


Figura 42 - Estudos de Frei Otto com bolhas de sabão e membranas de látex. Geometria exemplo proposta por Otto, muito parecida com a forma incidental - (OTTO, Tensile Structures, Volume One, 1967, pp. 89 - 90).

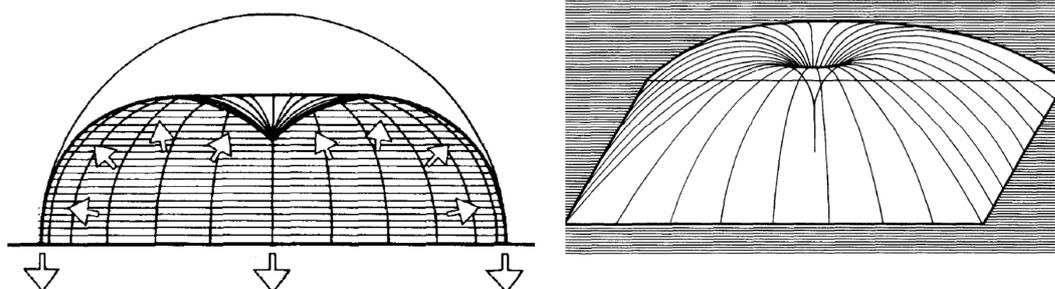


Figura 43 - Ponto de ancoragem interno diminui o raio de curvatura e as tensões na membrana - geometria exemplo proposta por Engel, muito parecida com a forma incidental - (ENGEL, 2003).

Como dito por Campos (2009), a presença do professor Miguel Sette como um dos integrantes da equipe do LILD, naquele momento, foi muito importante. “Físico, professor e divulgador de ciência, Miguel trouxe sua experiência com bolhas de sabão para o laboratório” (p. 74), iniciando, assim, uma série de experimentos com tais estruturas, deformando-as a fim de obter a superfície para a cobertura do novo espaço do LILD. Dentre uma série de estruturas pneumáticas, “as bolhas foram escolhidas porque na natureza tudo funciona da forma mais econômica possível seguindo a lei do mínimo esforço” (CAMPOS, 2009, p. 74). Desse modo, conseguimos obter a forma incidental - que como dito, tem algumas vantagens sobre a inicial - com um referencial de superfície mínima, ou seja, foi possível observar a geometria com a melhor relação energética para sua formação (OTTO, 1967).



Figura 44 - Miguel Sette fazendo bolha de sabão tensionada – (CAMPOS, 2009).



Figura 45 - Experimento com bolha de sabão - forma inicial – acervo LILD

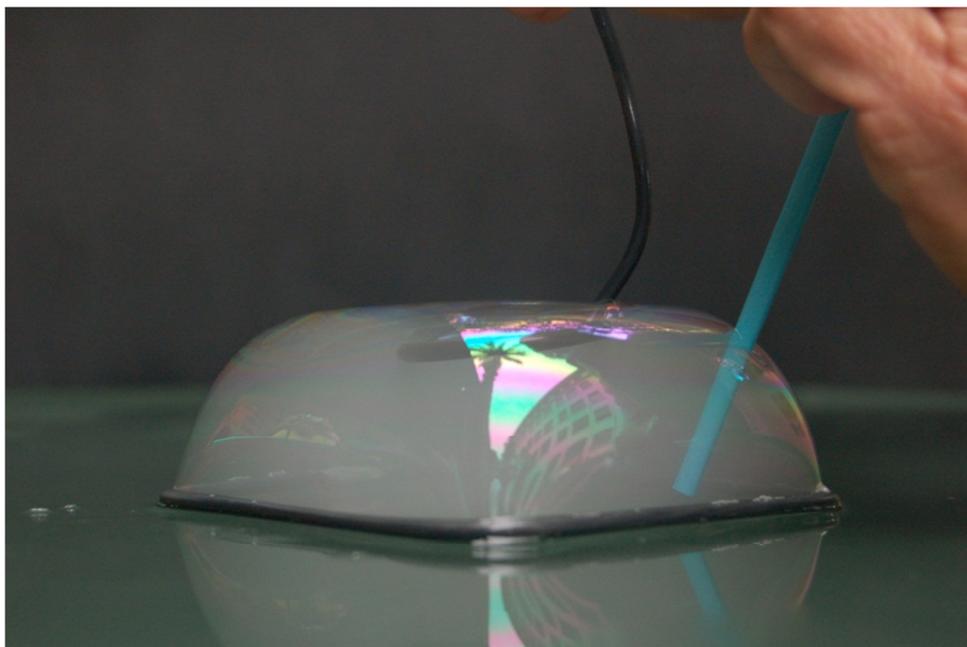


Figura 46 - Experimento com bolha de sabão - forma incidental – acervo LILD

Encontrada a forma objetivada, partiu-se então para um novo desafio. Como é apontado por Frei Otto (1967, p. 12), e observado empiricamente, as bolhas de sabão são estruturas extremamente delicadas e, por isso mesmo, 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 para a obtenção da geometria pneumática necessária.



Figura 47 - Dispositivo utilizado para inflar uma membrana de látex e aplicação de gesso para confecção de molde – (CAMPOS, 2009).

Nesse ponto do processo, paralelamente ao dispositivo de látex inflado, foram confeccionados uma série de outros modelos físicos e dispositivos para a obtenção da forma pretendida. Através desses elementos foi possível chegar a uma série de parâmetros definidores das alturas relativas à base. Apoiado por essas medidas é possível, então, a confecção de uma série de desenhos eletrônicos bidimensionais esquemáticos - baseados na geometria apurada anteriormente - da cobertura do novo laboratório já unida à estrutura metálica da base, contendo ainda a indicação da escala humana, levando a uma nova visualização referente ao espaço a ser construído.

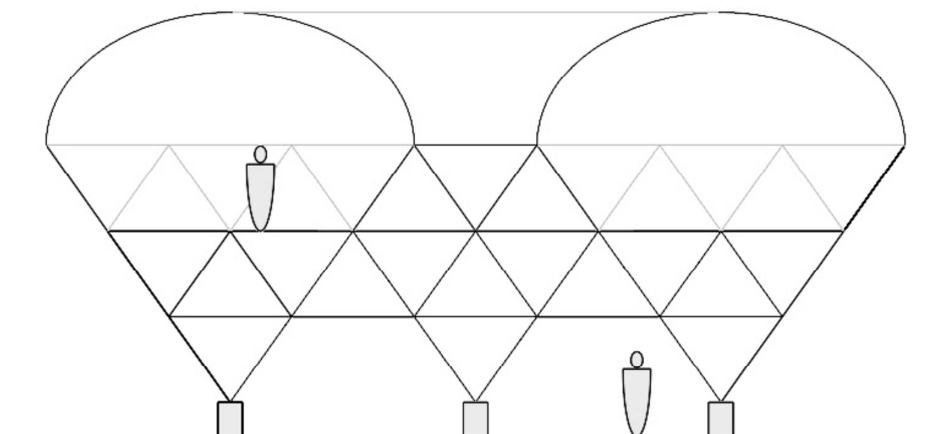


Figura 48 - Corte esquemático da cobertura e estrutura do novo LILD, gerada por computação gráfica – (CAMPOS, 2009).

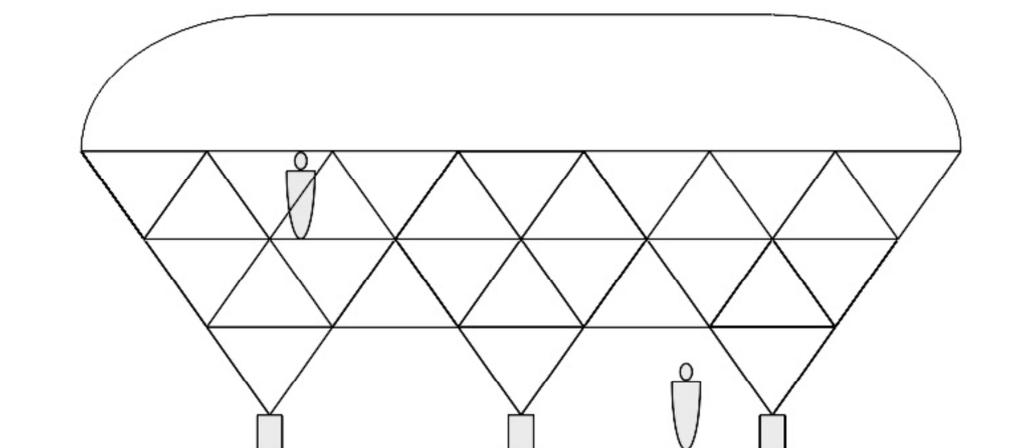


Figura 49- Vista esquemática da cobertura e estrutura do novo LILD, gerada por computação gráfica – (CAMPOS, 2009).

Ainda descontentes com os resultados obtidos através do dispositivo pneumático, e a evidente dificuldade na obtenção da forma desejada num modelo físico estável, optou-se por procurar o Centro de Design Rio, no 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 47, 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 CNC. É, exatamente, nesse ponto que se encontra a importância dos experimentos com as bolhas para com o objeto desta pesquisa, os modelos eletrônicos.



Figura 50 - Modelo escaneado no INT – (CAMPOS, 2009).

Ao iniciar o trabalho de escaneamento para a futura modelagem em tecnologia computacional gráfica, começaram a surgir dados, um tanto quanto, intrigantes. A ação de ler a superfície do modelo em gesso gera um primeiro modelo eletrônico, ou seja, uma malha baseada na nuvem de pontos obtida em tal superfície. Esse modelo é então

aberto em um software apropriado – no caso o *Rhinoceros* – para que possam ser feitas as devidas correções e alterações na superfície eletrônica.

Dessa forma, foram feitas algumas opções de geometria baseadas no modelo gerado pela nuvem de pontos obtida pelo escaneamento do modelo apresentado na figura 50. Esses modelos eletrônicos diferenciavam-se pela suavidade das curvas, variando de um bem suave (figura 51), até um com as curvas mais exageradas (figura 52).

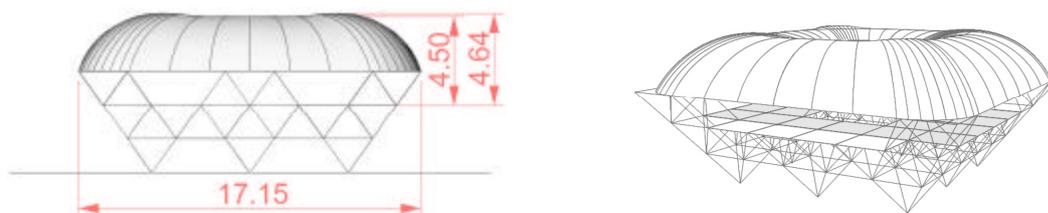


Figura 51 - Modelagem eletrônica de opção com curvas mais suaves (CAMPOS, 2009).

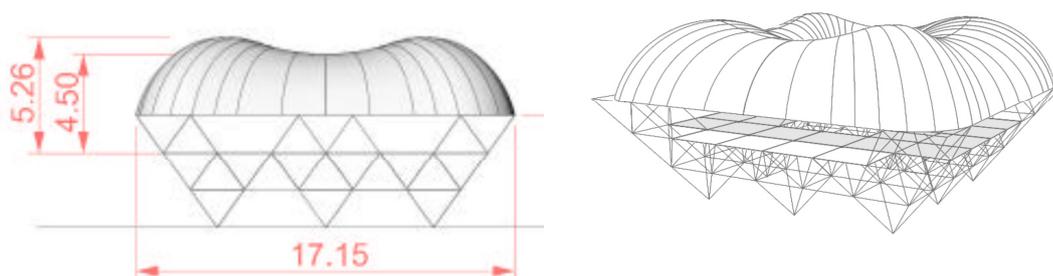


Figura 52 - Modelagem eletrônica de opção com curvas mais exageradas – (Campos, 2009).

Nesse momento, ao observarmos os modelos confeccionados em computação gráfica, começamos a perceber uma série de digressões em relação à geometria descrita pela bolha de sabão. Notamos uma série de discontinuidades tanto nas curvas do ponto mais alto como na base (figura 53). Essas discontinuidades alternavam-se quando das tentativas de correção das mesmas, configurando-se um problema, que na linguagem popular, é conhecido como “cobertor curto”, ou seja, quando se resolve de um lado, o erro aparece do outro, e vice-versa.

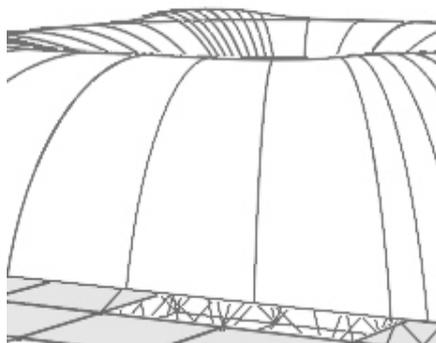


Figura 53 - detalhe da figura 22 mostrando descontinuidade nas curvas do ponto mais alto

Questionado sobre tais erros, o agente modelador se mostrou surpreso. Como dito, tentou resolver de várias maneiras, chegando à única conclusão possível a quem, como aponta Flusser (2011) e Baudrillard (1991), está submetido ao programa da máquina – e não reflete sobre tal – transformando-o em parâmetro para o discernimento do que é real ou não: a forma da bolha de sabão não existe, pois, como o software não a reproduz, para ele, não é real.

Na época, mesmo discordando da colocação do modelador, resolveu-se levar a cabo a confecção de modelos físicos gerados em CNC, ignorando assim as descontinuidades, que podem ser observadas também nesse modelo fresado (figura 54). Optou-se pela utilização do modelo eletrônico com as curvas mais acentuadas (figura 52) – visto que se a geometria exagerada funcionasse, a suave também funcionaria - que foi usinado em poliuretano, gerando a forma próxima da pretendida, possibilitando a confecção de um molde negativo (figura 55) para dar continuidade ao desenvolvimento da estrutura reticulada que seria a cobertura do novo espaço do Laboratório.



Figura 54 - Forma fresada resultante do modelo eletrônico, detalhe para a descontinuidade - (CAMPOS, 2009).



Figura 55 - Molde negativo e estudo de retícula – (CAMPOS, 2009)

Após modelar em tecnologia computacional gráfica o modelo 19 (figura 4), relatado anteriormente, me interessei por esse processo de obtenção da forma derivada da bolha de sabão. Verificando o entrave acima disposto, optei por, em paralelo ao desenvolvimento da retícula, analisar e estudar a suposta impossibilidade do modelo eletrônico reproduzir a geometria da bolha de sabão.

Tendo em mente as observações de Flusser (2011) sobre a inserção do elemento humano como forma de modificar as permutações existentes no programa do aparelho – no caso, o software -, assim como as ideias de reflexão sobre o objeto eletrônico, propostas pelos pesquisadores e educadores da corrente não tradicional, levantados por Spitz (1993), iniciei o processo de modelagem tridimensional eletrônica de tais geometrias.

De modo a não me influenciar pelos resultados obtidos anteriormente, optei por reiniciar o processo, deixando de lado os modelos eletrônicos já confeccionados, dando ênfase apenas aos parâmetros definidos pelos inúmeros modelos físicos realizados até o esse momento. Vale ressaltar que optei por utilizar um *software* diferente, passei a usar o *AutoCAD* em detrimento ao *Rhinoceros*, utilizado anteriormente, não só pelo fato de eu ter um maior domínio, mas também para diferenciar o conjunto de permutações que tanto Flusser (2001) ressaltava. Além disso, o *AutoCAD* trabalha com três tipos de modelagem: sólidos, superfície e NURBS¹; enquanto o *Rhino* trabalha apenas com a última.

Para iniciar os trabalhos, inseri no software os parâmetros utilizados para a obtenção da curva mais acentuada, como a da figura 52. Optei por me deter apenas na parte externa da geometria, visto que, se o *software* fosse capaz de reproduzir tal forma, também seria capaz de realizar a parte interna. Dessa forma, comecei com o desenho

¹ Non Uniform Rational Basis Spline - curvas uniformes, não racionais básicas

bidimensional dos limites da base, estendendo sempre as linhas formadoras, de modo a criar uma grade, gerando assim, uma série de pontos de referência (figura 56). A partir de então foi possível desenhar as alturas relativas a esses pontos de referência, criando assim, uma nuvem de pontos básicos formadores da geometria (figura 57). Com esta nuvem representada, consegui encontrar os parâmetros para desenhar os arcos referentes às seções da forma objetivada. Nesse momento foi possível visualizar o *wireframe*² básico da peça (figura 58).

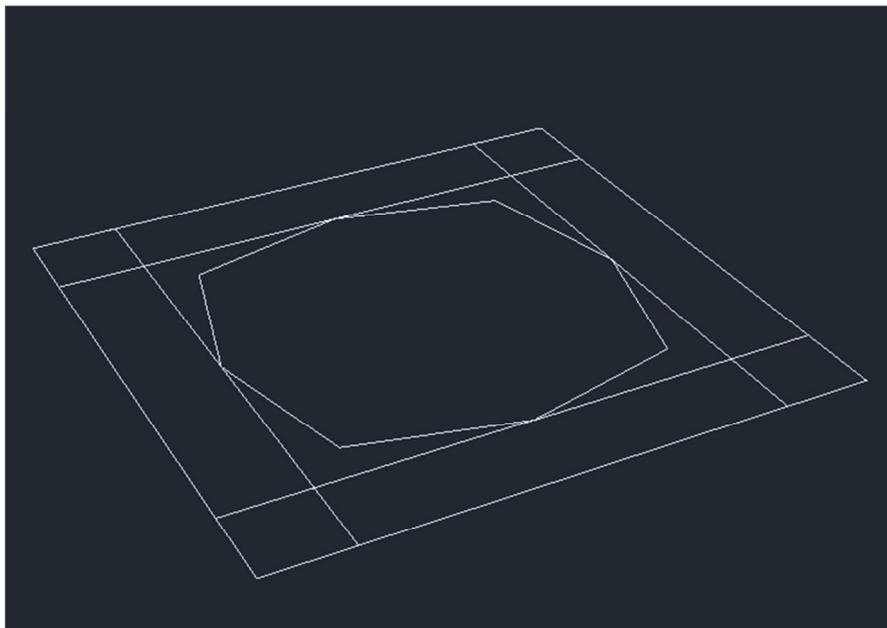


Figura 56 - Grade bidimensional marcando os pontos de referência

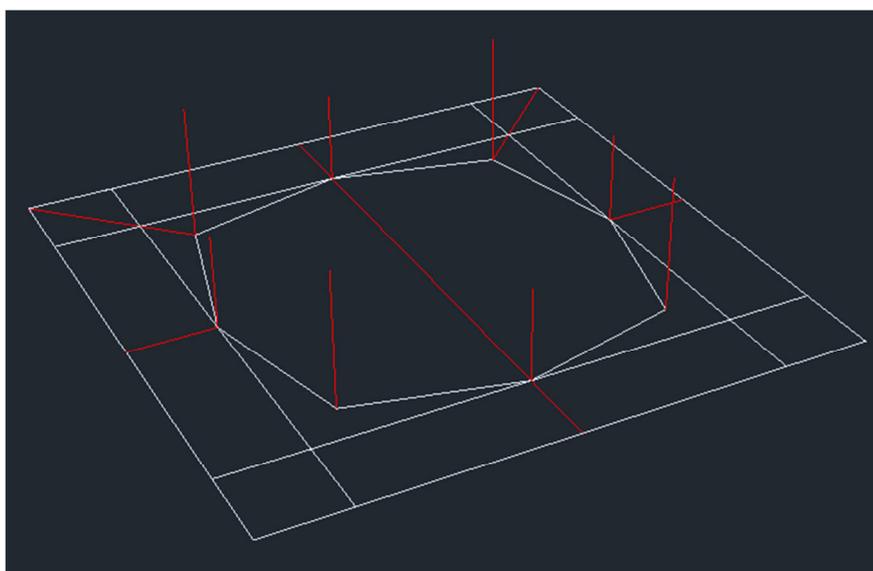


Figura 57 - Alturas formando nuvem de pontos básicos formadores da geometria

² Armação de arame – é termo usado para se referir às linhas básicas formadoras de uma geometria.

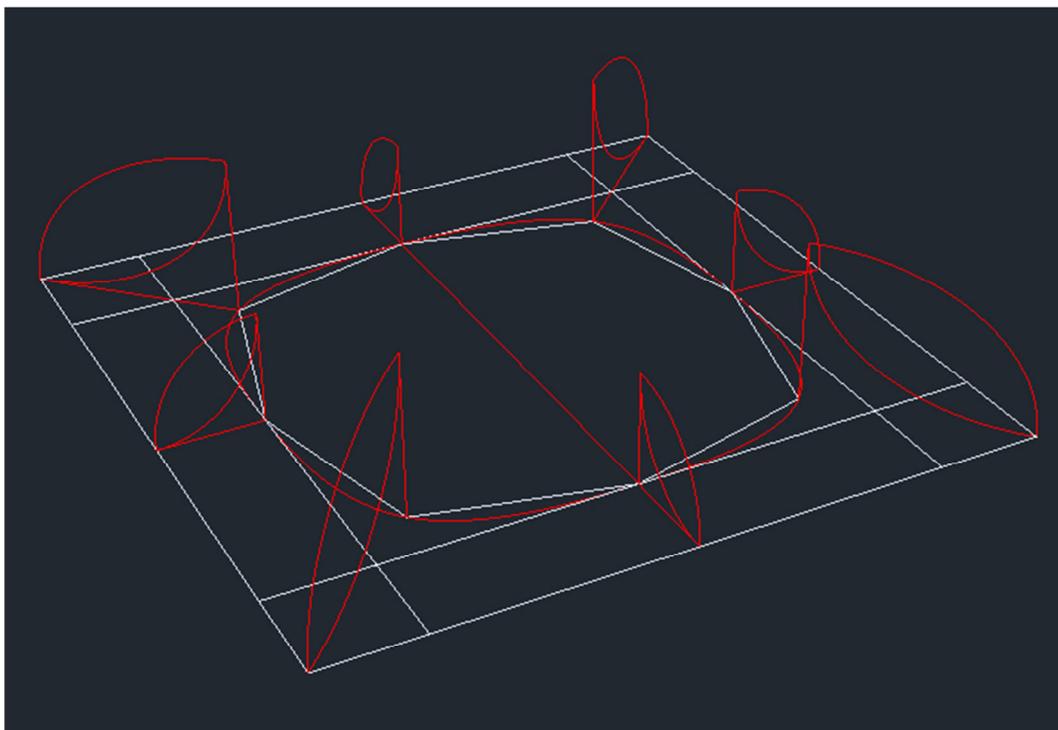


Figura 58 - Curvas desenhadas mostrando o *wireframe* básico da peça

Feito o *wireframe* básico, iniciei a modelagem em si. Selecionei o modo de modelagem por superfície, visto que o modo NURBS havia sido usado nos modelos anteriores – feitos no Rhino – e o modo sólido aumentaria consideravelmente o tamanho do arquivo e, conseqüentemente, o consumo de recursos do sistema, como memória e processamento, dificultando a execução do trabalho.

Para testar o *wireframe* gerado, comecei a modelar pela maneira mais simples a união das curvas desenhadas, utilizando o comando *loft* com a configuração “regrada”, que cria uma superfície entre uma curva e outra seguindo a menor reta entre os pontos relativos de cada uma, obtendo assim a geometria demonstrada nas figuras 59 e 60.

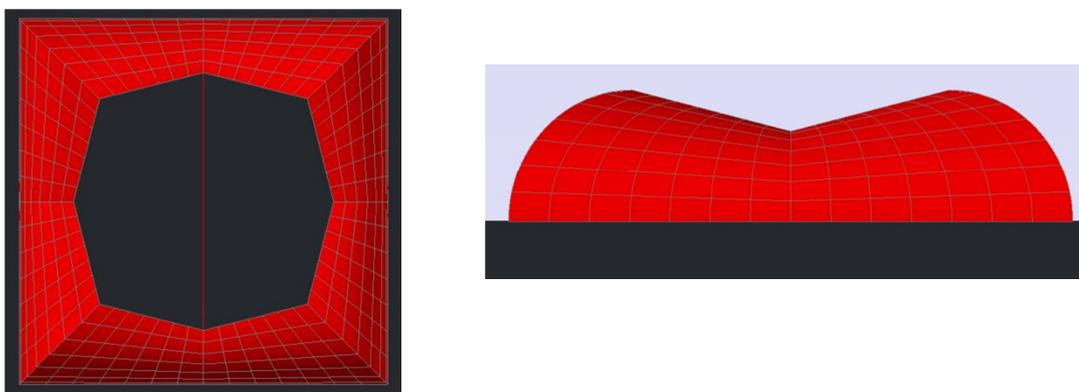


Figura 59 – Vista superior e vista frontal da geometria obtida com o comando mais simples de loft

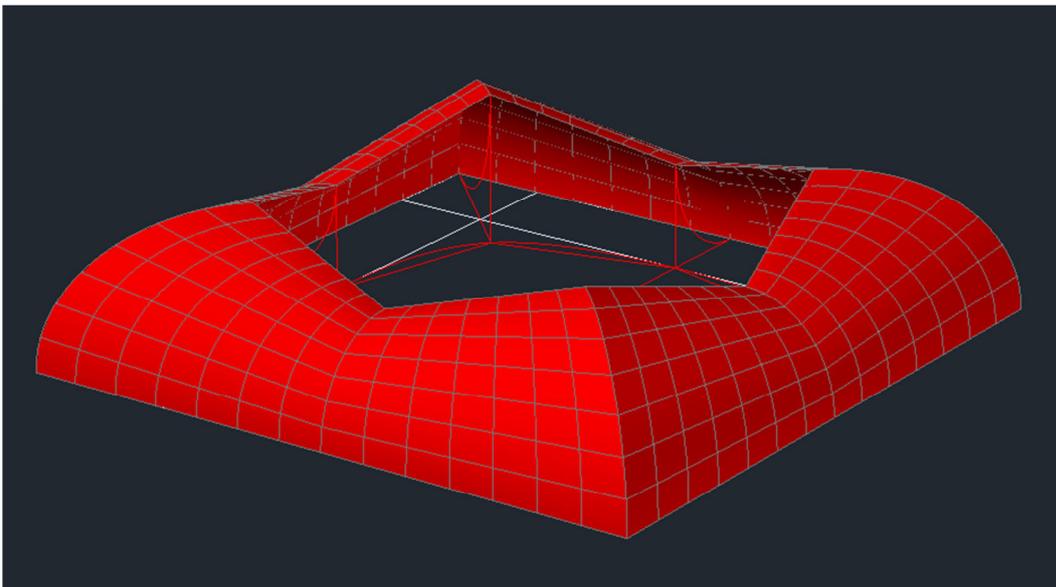


Figura 60 - Perspectiva da geometria obtida com o comando mais simples de loft

De um modo geral, essa forma resultante assemelha-se à forma objetivada, apontando um caminho de modelagem um tanto quanto promissor. Satisfeito com esse primeiro resultado, optei retornar ao wireframe básico – mostrado na figura 58 – e modificar os parâmetros do comando *loft*, de modo a buscar uma suavização dos ângulos percebidos na figura 59, tornando a interseção dos planos mais harmônica, reduzindo, assim, discontinuidades, e buscando uma maior aproximação com a forma objetivada. Utilizei o comando *loft* na configuração “ajuste suave” e, como resultado dessa tentativa obtive a geometria apresentada nas figuras 61 e 62.

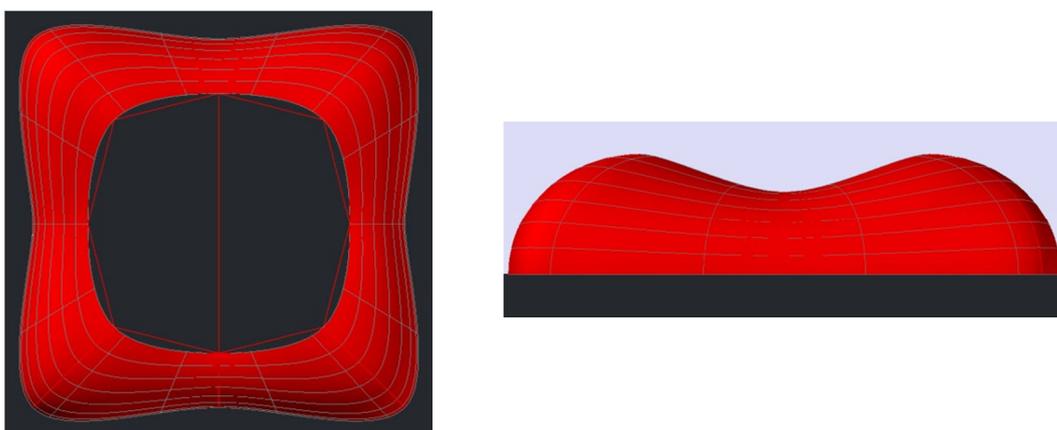


Figura 61 - Vista superior e vista frontal da geometria obtida através da configuração "ajuste suave" do comando *loft*

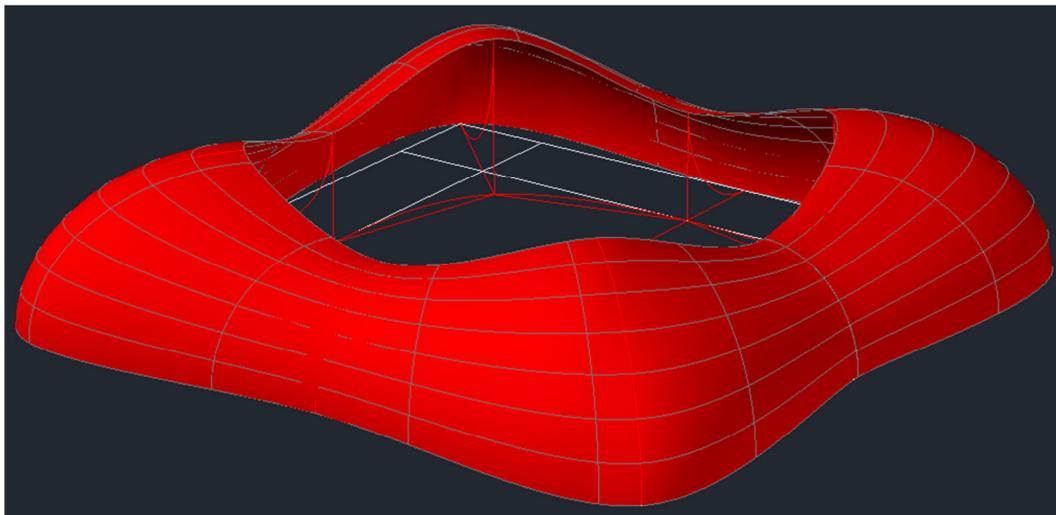


Figura 62- Perspectiva da geometria obtida através da configuração "ajuste suave" do comando *loft*

Observando a vista frontal (figura 61) da geometria obtida através do da configuração “ajuste suave” é possível notar uma clara semelhança com a geometria pretendida. Por outro lado, ao observar a vista superior, se nota as mesmas discontinuidades apontadas nos modelos anteriores, confeccionados no *Rhino*. Analisando o porquê de isso ter ocorrido, pode perceber alguns detalhes falhos tanto no *wireframe* básico gerado, quanto no funcionamento do comando *loft*, principalmente no que diz respeito aos ângulos de início e de fim da forma gerada.

O problema encontrado no *wireframe* foi, na verdade, um descuido de minha parte no momento da execução do mesmo. Acostumado com a lógica ortográfica do mundo cartesiano, não observei com atenção a base das formas geradas pela bolha de sabão, abstraindo-a para um quadrado. Retornando os olhos às geometrias da bolha, pude perceber que não existem arestas vivas, apenas curvas em seus limites. Baseado em Otto (1967, p. 18), Engel (2003) nos aponta o porquê disso ocorrer:

As forças de um volume de ar, sendo fechadas no interior e sendo pressurizadas, são iguais em todo volume. Elas agem centrifugamente na direção da membrana, isso é em direção à possível equalização de pressão. A forma da membrana resultante dessa constelação de forças é a geometria básica de modelos pneumáticos – SUPERFÍCIES ESFÉRICAS. A superfície esférica contém um volume espacial com um mínimo de superfície, assim configura um invólucro, cujo volume pode ser reduzido ao máximo em cada deformação, isto é, apresenta resistência ótima à deformação. Sobre pressão interna a membrana esférica, uniforme e homogênea, desenvolve esforços de tensão iguais em cada ponto. (ENGEL, 2003, p. 97)

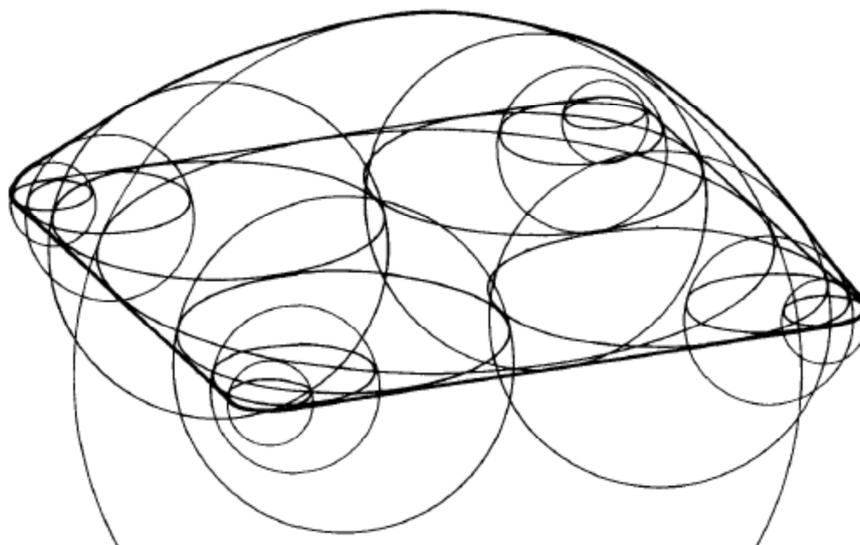


Figura 63 - Estruturas pneumáticas tem por base a geometria esférica – (ENGEL, 2003).

Para entender o problema relacionado à configuração do comando *loft*, é preciso que se faça um pequeno esclarecimento acerca do funcionamento - que é bastante interessante - do mesmo.

Para acioná-lo é preciso que se tenha desenhado uma série de seções da forma desejada. Ele, então, une essas seções na ordem escolhida, criando uma série de superfícies entre as mesmas. Para que se possa afinar o resultado final às preferências do agente modelador, é permitida uma série de configurações referentes ao modo como essas seções serão unidas, possibilitando várias geometrias resultantes diferentes.

Entendido esse processo, fica simples observar que a falha encontra-se quando da determinação dos ângulos de saída e entrada do caminho que a superfície irá percorrer entre as seções desenhadas. Como essas seções já são uma abstração da forma real se torna muito difícil determinar empiricamente, e mesmo matematicamente, essas angulações de início e fim, causando, desse modo, as imperfeições notadas nos modelos confeccionados até o momento.

Nesse ponto, parti para a revisão do *wireframe* básico, redesenhando as curvas, tanto da base, quanto das quinas, com vistas a alinhar esses pontos à teoria observada por Engel.

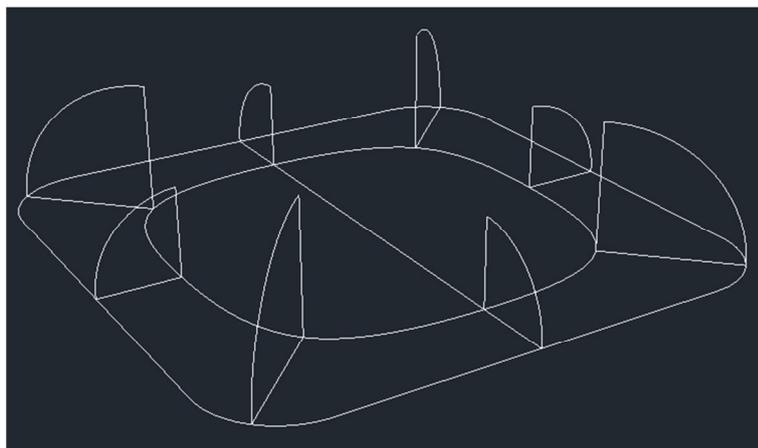


Figura 64 - Wireframe básico revisado segundo a teoria de Engel (2003)

A partir desse *wireframe* básico revisado, voltei aos comandos de modelagem. Apesar de um pouco desanimado com o comando *loft*, optei por continuar o mesmo, porém, dessa vez, explorando os recursos de caminho e guia, que consistem basicamente em desenhar o trajeto ao qual a superfície deve seguir entre as seções. Dessa forma optei buscar por linhas guias a linha da base da forma e a aquela resultante da parte interna da geometria mostrada na figura 62, visto que essa última estava bastante próxima do desejado, e que, as falhas apontadas não interferiram no *shape* da mesma – essa última foi obtida através do comando *Explode*, de que separa as entidades formadoras de certa forma, no caso a forma citada anteriormente. Como próximo passo, formatei um *wireframe* de construção. Escolhi dividir o objeto em quatro partes, separadas por suas diagonais, pois dessa maneira foi possível reduzir a complexidade da superfície, utilizando menos seções.

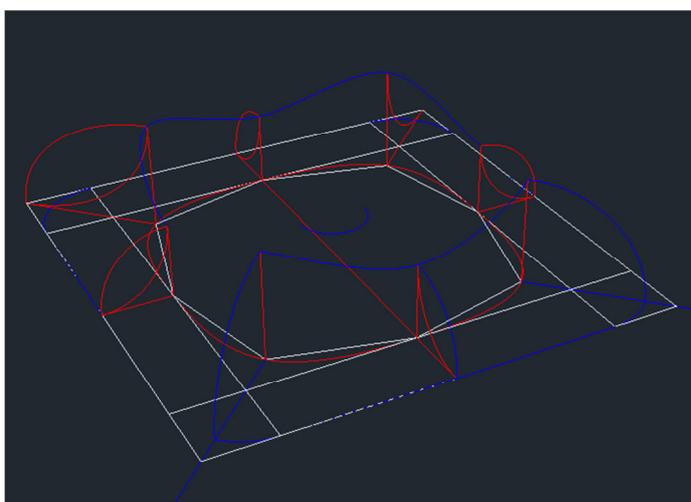


Figura 65 - Wireframe de construção

Na continuação da modelagem, ao tentar aplicar o comando *loft*, um fato um tanto quanto inusitado começou a ocorrer: o software se recusou a compor a geometria pretendida. Ao selecionar as três seções, e posteriormente as outras duas linhas de guia, o software respondia com a seguinte mensagem: “Erro de operação de modelagem: a curva de guia não faz intersecção com todos os perfis. As entidades selecionadas não são válidas”. Mesmo modificando a ordem de seleção, ou então considerando as seções como guias para as curvas da base e do topo, o programa respondia com o mesmo conflito. Para analisar se realmente as guias não faziam intersecção com as seções selecionadas, resolvi, então, deixar de fora uma dessas curvas ao acionar o comando. Surpreendentemente ele não apresentou a mensagem de erro, e mostrou a geometria resultante da utilização das quatro curvas selecionadas. Fiz também o inverso, deixando de fora a curva utilizada da primeira vez, ele novamente não apresentou o conflito.

Dessa maneira, ficou evidente que, nesse momento, tinha-se alcançado um limite do software. Por ser uma permutação não esperada, o programa simplesmente a considera como fora do padrão e trata a mesma como uma impossibilidade, ou seja, uma irrealdade, apesar de essa geometria existir no mundo real. Isso nos retorna às ideias de Flusser e Baudrillard sobre a falsa noção de realidade gerada pelas imagens técnicas, ou seja, as imagens geradas em aparelhos como o computador. Nesse ponto, então, é preciso atenção. Cabe-nos entender que a codificação do aparelho apenas não foi capaz de reproduzi-la, mas que, na realidade, essa forma não é inexistente.

Não fiquei satisfeito com essa impossibilidade aparente. Ciente do conflito entre a geometria pretendida, e a lógica do programa computacional; resolvi atacar o problema de outra maneira. Analisando cada elemento desenhado até o momento, as seções da geometria, a linha da base, e a linha do topo (resultante da geometria gerada pelo comando *loft*), percebi que cada uma foi obtida de um modo diferente.

Fazendo analogia a construção de modelos físicos, foi possível enxergar que na construção eletrônica os dispositivos auxiliares - ou no dito popular, as “muletas” - são de suma importância para o enriquecimento das permutações possíveis, elevando à potência a viabilidade de reprodução ou, mesmo, criação de geometrias complexas. Esses dispositivos são, pode-se dizer, um fator determinante na subjugação do sistema computacional do software, às necessidades do homem. É, como aponta Flusser (2011), o fator humano inserido no cálculo de permutações possíveis do aparelho, possibilitando assim, uma abertura desse microcosmo computacional às vontades e necessidades do homem.

Desse modo, o computador passa a trabalhar em favor do usuário e não o contrário, como tanto acontece.

Entendido esse processo de utilização de dispositivos auxiliares, retornei às linhas obtidas através deles. Observando-as com atenção, em conjunto, cada uma em seu lugar, nossos olhos tendem a formar a geometria de união das mesmas. Dessa forma, percebi que faltava muito pouco para obter a forma pretendida. Busquei, então, outro comando que, assim como nossa visão, completasse a geometria resultante do encontro das linhas.

O resultado dessa busca foi o comando *surfnetwork*, ou superfície de rede. Tal comando faz exatamente o pretendido: une uma série de linhas em dois sentidos diferentes (rede), criando uma superfície entre as mesmas. Uma grande diferença entre esse comando e o comando *loft*, é o fato de que o atual trabalha apenas com linhas, ou seja, não suporta formas fechadas para que se crie a superfície. Mesmo questionando se funcionaria ou não, resolvi aplicar a ferramenta de rede nas cinco linhas - advindas de dispositivos - citadas anteriormente, e que haviam sido insuficientes para o comando *loft*.

Surpreendentemente o programa realizou o proposto, e gerou a geometria mais próxima - entre todas testadas até o momento - à forma pretendida, ou seja, mais próxima à bolha de sabão. Em contrapartida à satisfação de ter chegado à geometria pretendida, surgiu um novo detalhe. Como havia dito, optei por trabalhar com apenas um quarto do todo (figura 66), determinado pelas diagonais do quadrado básico da base da forma, o que não se mostrou adequado à obtenção do objeto final o mais fiel possível.

Para a formação de tal objeto, seria necessária a “soldagem” dos quatro quartos obtidos na ação de modelagem. Executada a ferramenta de *union* – união - observou-se um evidente problema de descontinuidade da superfície exatamente no ponto de junção entre os quartos (figura 67).

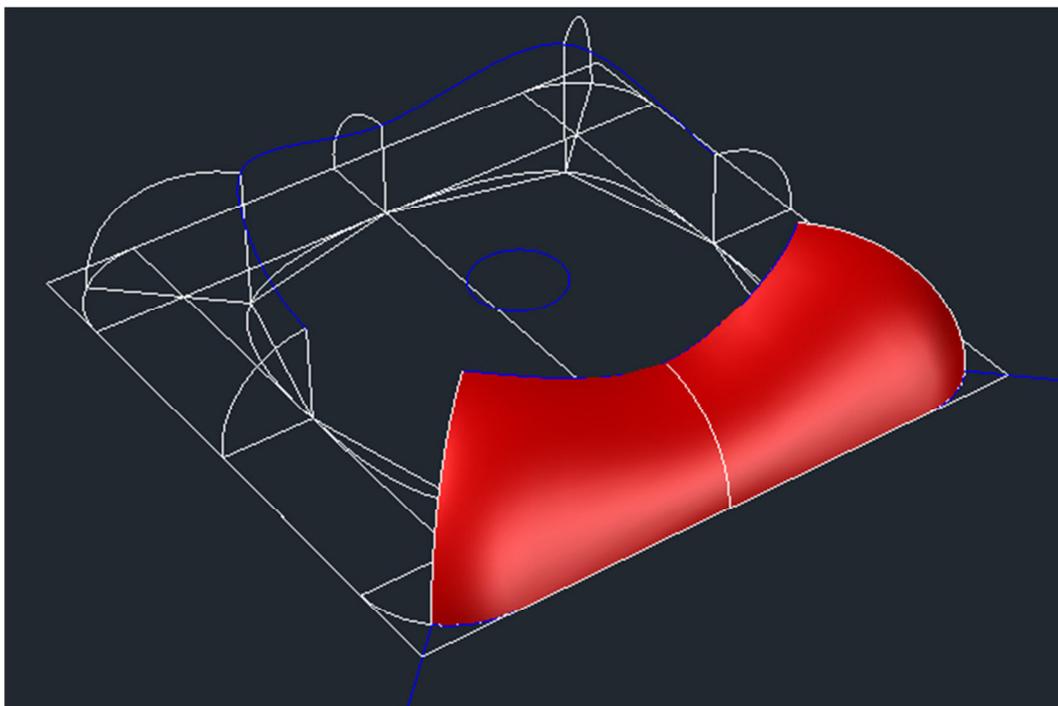


Figura 66 - Superfície obtida pelo comando *Surfnetwork*

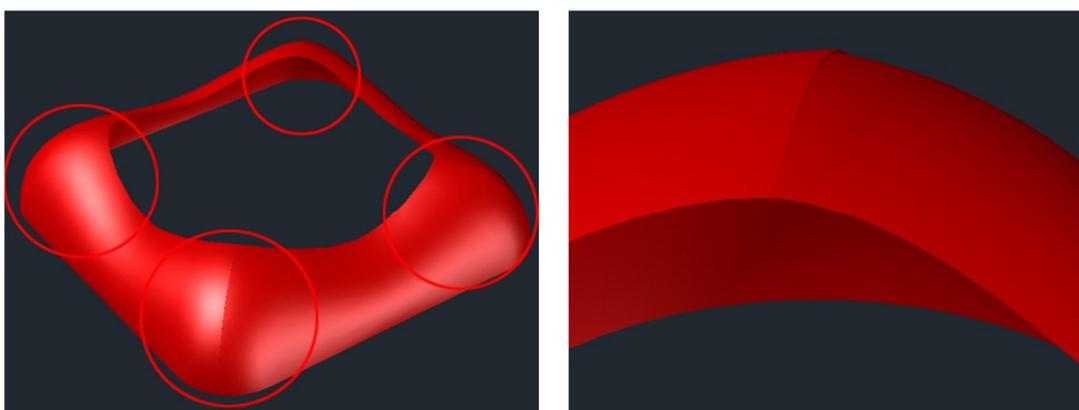


Figura 67 - Descontinuidades nas áreas de junção

Desse modo, optei por rever mais uma vez o *wireframe* básico, de forma a obter a maior parte possível do objeto, talvez até o objeto todo. Em contrapartida, como explicado anteriormente, o comando de superfície de rede funciona apenas com linhas abertas, sendo assim, escolhi trabalhar com metade da forma geral - o que já fora feito anteriormente - inclusive porque a bitola da fresa CNC utilizada para esculpir o modelo mostrado na figura 54 não suporta as dimensões totais do objeto pretendido, apenas a metade.

Em continuação, redesenhei o *wireframe* para a modelagem de metade da forma pretendida, e em seguida, acionei o comando *surfnetwork*, obtendo assim, a geometria mais próxima, até esse ponto, da forma da bolha de sabão.

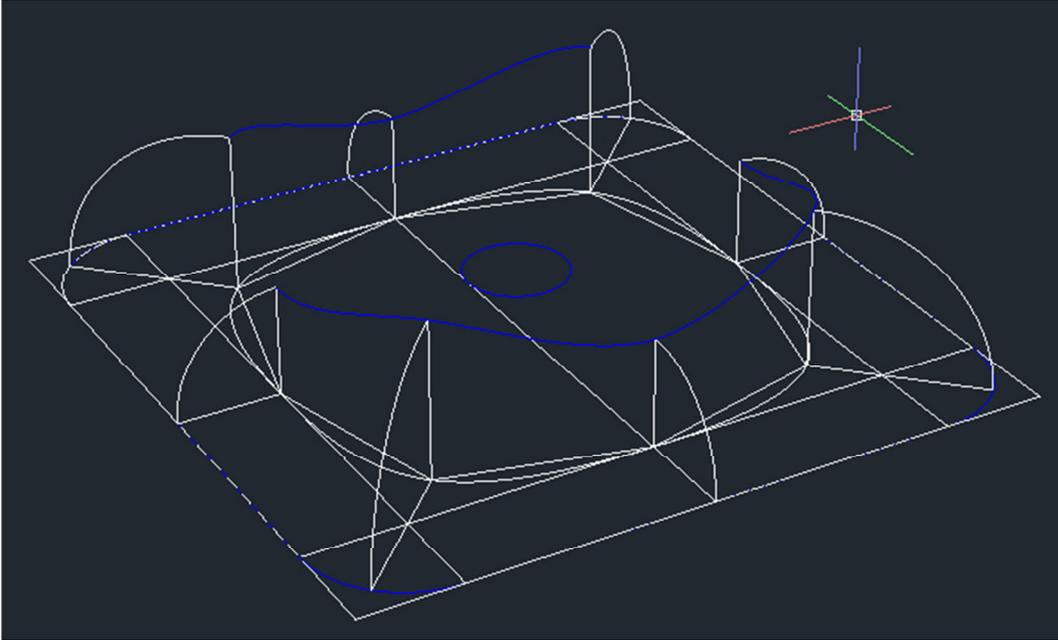


Figura 68 - Wireframe redesenhado para a modelagem de metade da forma pretendida

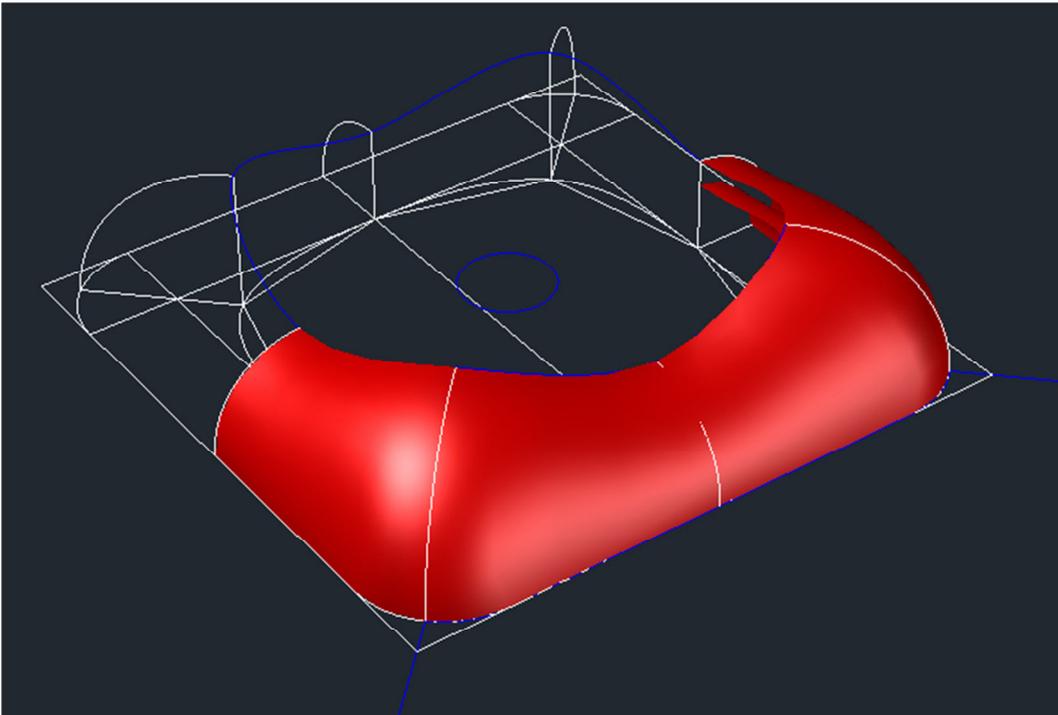


Figura 69 - modelagem de metade da forma pretendida

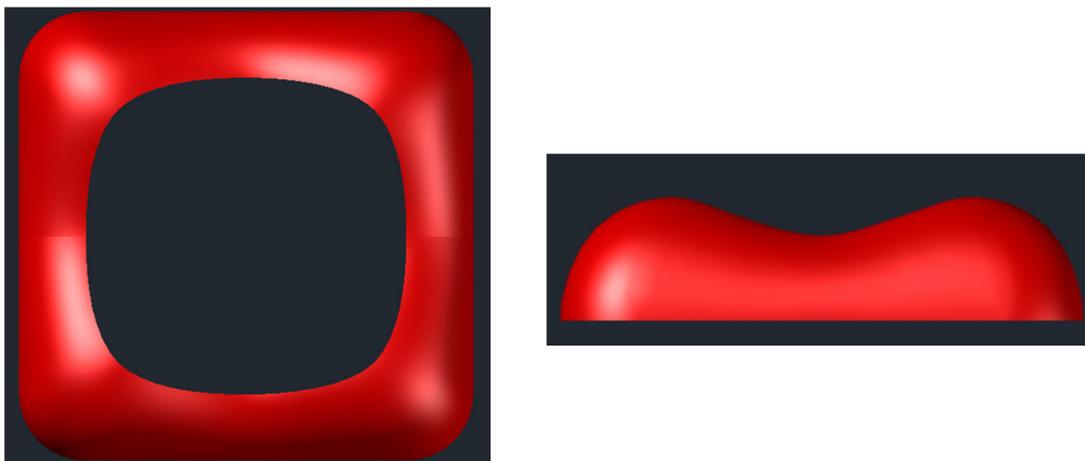


Figura 70 - Vista superior e vista lateral da forma final obtida

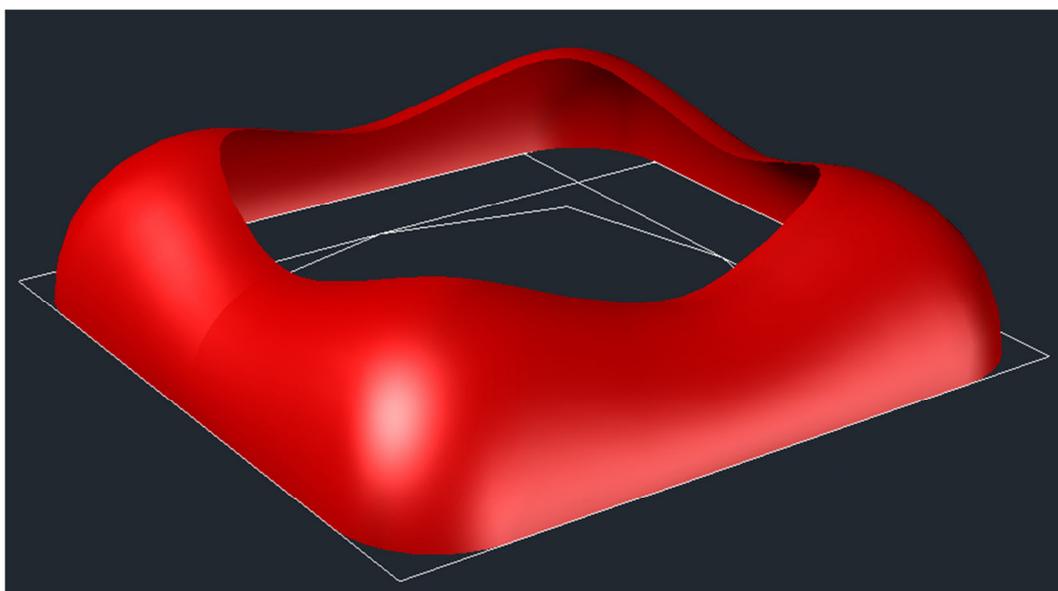


Figura 71 - Perspectiva da forma final obtida

Obviamente, muitos detalhes precisam de ajustes. Ainda é possível observar duas discontinuidades um tanto quanto evidentes na junção das peças. A geometria do interior ainda precisa ser encontrada, além de uma série de outras pequenas calibrações necessárias a obter uma forma ainda mais precisa.

Por outro lado, cabe aqui ressaltar a importância desse processo frente à pesquisa que vem sendo desenvolvida pelo LILD, e principalmente à pesquisa que resultou nesse trabalho que se apresenta. O caso da bolha de sabão foi o pontapé inicial para o estudo conceitual e reflexivo sobre o objeto eletrônico, e não apenas ferramental como vinha sendo desenvolvido. Vale lembrar que, apesar de não termos conseguido obter a forma idêntica à pretendida, conseguimos aumentar bastante o grau de precisão e, principal-

mente, conseguimos visualizar um novo processo, assim como, uma nova ferramenta no auxílio à pesquisa do LILD, que é o computador, mais precisamente a modelagem eletrônica.

3.3. Estados de um modelo

Após os estudos iniciais de maneira ferramental – através da confecção eletrônica do modelo 19, introduzido no capítulo 1 – e conceitual – confecção de geometria baseada na forma da bolha de sabão – da computação gráfica, começamos a aplicá-la em uma série de pesquisas em desenvolvimento no laboratório, dispostas no item 3.1, levantando, assim, uma série de interações entre os estados de um modelo.

Ao analisarmos o material – ideias, modelos mecânicos, de uso e, eletrônicos - utilizado no desenvolvimento das pesquisas, foi possível perceber que todo esse está interligado, e, obviamente refere-se ao objeto estudado. Considerando esse objeto como um modelo, podemos perceber que a pesquisa pode ser entendida sob um prisma de estados que esse modelo vem a ter.

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

O estado Mental seria a ideia inicial, a raiz do desenvolvimento, ou seja, o ponto de partida da pesquisa. Esse estado, inicialmente, é formado pelo entendimento, à *priori*, do pesquisador sobre o objeto/pesquisa a ser desenvolvido, e vai sendo enriquecido, e mesmo modificado, pelas respostas obtidas com o desenvolvimento dos demais estados, que no caso da pesquisa do LILD são três (figura 73): o estado mecânico, o estado de uso e, o estado eletrônico.

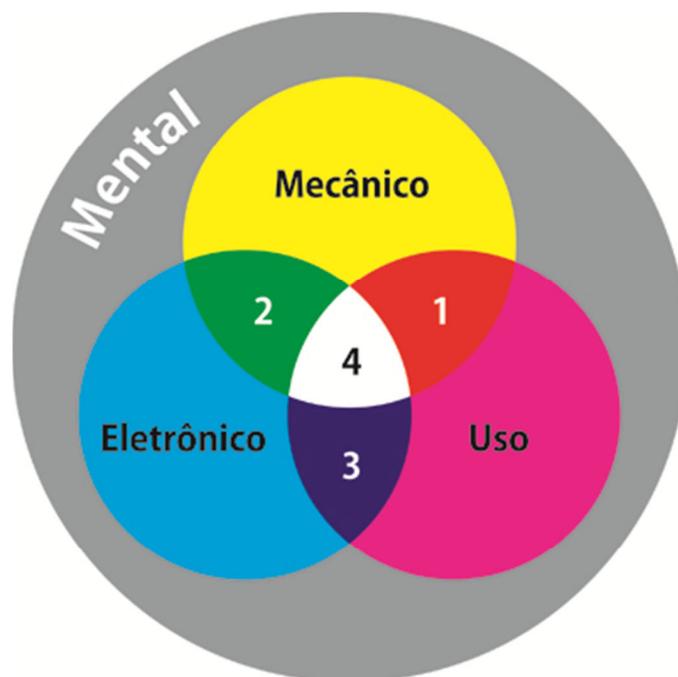


Figura 72 - Estados de um modelo e interações presentes na pesquisa do LILD

O estado mecânico refere-se aos modelos concretizados. São os modelos em escala reduzida, partes do objeto em escala real, *mock-ups*³ e modelos de estudo das tecnologias a serem utilizadas. O estado mecânico, ou miniatura, é o mais utilizado no LILD como forma de estudo e enriquecimento da pesquisa. Antes de ser uma representação do estado mental, o estado mecânico é, acima de tudo, um objeto concreto, e por conta disso, está sujeito a alguns elementos físicos que atuam no mundo, como a gravidade, a luminosidade, as intempéries, a ação do tempo, entre outros.

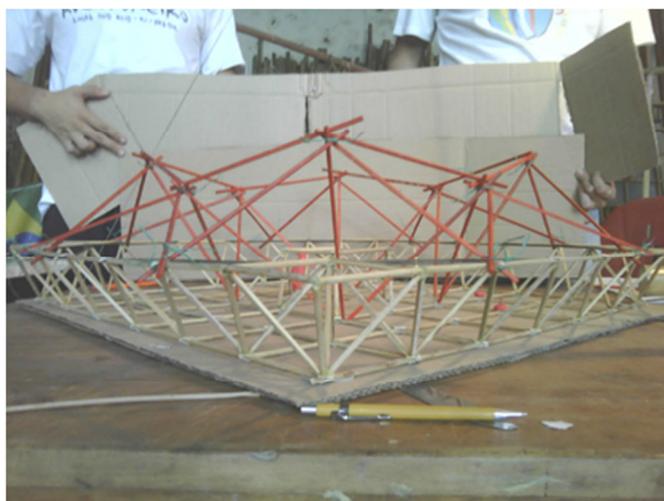


Figura 73 – Modelo em estado mecânico

³ Modelo não funcional em escala real, que segue a geometria, podendo ser feito com materiais diferentes

O estado de uso é o objeto na escala real e preparado para que seja usado. Ele é também um objeto mecânico, porém, não se encaixa na definição anterior pelo fato de ser uma resolução do nó de tendências, presentes no estado mental, mais apurada. Exatamente por isso, esse estado, normalmente, é posterior a todos os outros. É como um resultado das respostas obtidas através dos demais estados. Por outro lado, também traz dados ao enriquecimento da pesquisa e, logicamente, do modelo mental.



Figura 74 - Modelo em estado de uso

O uso da computação gráfica foi sendo introduzida no laboratório na medida em que a tecnologia eletrônica tornou possível o uso individual e portátil do computador. O estado eletrônico é o mais recente de todos os observados na pesquisa do LILD. Vale lembrar que o modelo nesse estado, ao contrário do estado mecânico, está fora do mundo mecânico, e logo, alheio as forças atuantes nesse mundo. Por outro lado, essa alienação em relação ao exterior, permite novas visões sobre o objeto estudado, enriquecendo, assim, a pesquisa.

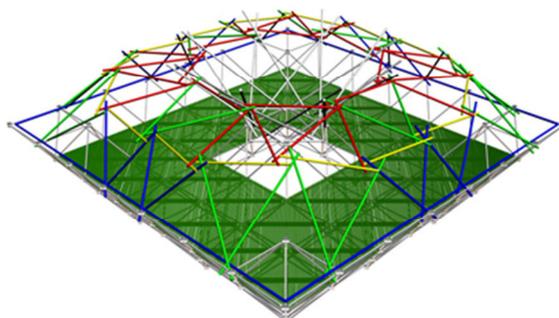


Figura 75 - Modelo em estado eletrônico

Apesar de essenciais, não são exatamente os estados do modelo que conduzem a pesquisa. Eles funcionam como estações de entendimento sobre certo ponto estudado. Retornando à ideia do nó de tendências proposto por Levy (2001), os estados de um modelo são elementos de resolução da virtualidade contida na pesquisa. Esses estados são como um resumo do que fora entendido até o momento de sua confecção, servindo, dessa forma, como novo ponto de partida, tanto para o estudo e resolução de novas questões assim como para clarificar e aproximar-se ainda mais da resolução de questões anteriores, até então, não resolvidas.

Dessa forma, entendemos que os dados inseridos na confecção de um estado de modelo, seja ele qual for, é o que movimenta e impulsiona a pesquisa corrente. Por outro lado, os estados de um modelo são fundamentais na obtenção de tais dados a serem inseridos. Destarte, podemos concluir que os estados se retroalimentam, dando subsídio a continuidade dos estudos. Entendemos agora que o responsável pelo andamento da pesquisa são as interações (figura 72) existentes entre os estados acima dispostos, e não cada um deles isoladamente.

3.4. Interações entre os estados de um modelo

As interações ocorrem em vários sentidos e de várias maneiras possíveis. Não existe uma ordem ou uma direção apenas. É certo que um maior número de interações resultará em um maior número de questões resolvidas, e conseqüentemente, mais caminhos apontados para o desenvolvimento da pesquisa. Em contrapartida, como nos estados de um modelo, existe uma primeira interação, que será sempre recorrente e colocar-se-á acima das demais: trata-se da interação entre o estado mental de um modelo, e os demais estados individualmente.

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

Por outro lado, essas interações modelo mental x demais modelos individualmente, é incapaz de conduzir sozinha a pesquisa. Como dito, cada estado de modelo

responde a certo tipo de característica necessário a resolução dos problemas encontrados quando do desenvolvimento da pesquisa. Se nos detivermos apenas nesse primeiro tipo de interação, avançaremos muito lentamente, quase que estagnados, visto que ficaremos detidos apenas a tais características inerentes aos estados de um modelo.

Um exemplo desse caso é o trabalho do artesão, que se encaixa na interação estado mental x estado de uso. Em geral, a obra desse profissional restringe-se a certo número de objetos, cujo processo de confecção lhe fora ensinado por um mestre. Esse processo de confecção exige reflexão por parte do trabalhador, porém, lhe traz pouquíssimas novidades em relação à realidade do objeto, que permanece inalterado por várias gerações de artesãos. Isso ocorre devido à inobservância de novas possibilidades, que poderiam ser facilmente encontradas se outros estados do modelo fossem produzidos.

Exatamente pelo fato desse tipo de interação não funcionar sozinho, mas, ao mesmo tempo ser a interação fundamental, ele não foi numerado no diagrama da figura 42, sendo considerado como a possibilidade raiz, que estará sempre presente.

A partir disso, partimos então para as interações que em conjunto com esta interação raiz irão gerar dados para o enriquecimento e desenvolvimento da pesquisa que, como numeradas na figura 72, são: 1) estado físico x estado de uso; 2) estado físico x estado eletrônico; 3) estado eletrônico x estado de uso; e 4) interação entre todos os estados.

As interações do tipo 1, estado físico x estado de uso, são as mais presentes na pesquisa do LILD. A realização em estado mecânico dos diversos modelos estudados é uma característica do trabalho desse grupo de pesquisa, que com as respostas obtidas através dessa realização, obtém dados para o desenvolvimento de tais modelos em estado de uso, o que sintetiza e apresenta novas características das tecnologias pesquisadas nesse laboratório.

Por outro lado, as interações do tipo 3, estado eletrônico x estado de uso, ainda não foram observadas na pesquisa do LILD. Esse tipo de interações pode ser encontrado na indústria, principalmente aquelas que se utilizam de sistemas integrados auxiliados por computador (CAD/CAE/CAM), e máquinas que operam por controle numérico computacional (CNC), o que possibilita a conversão direta entre o estado eletrônico e o estado de uso. A conversão direta no sentido contrário é possível através de escaneamento 3D, porém, como no caso anterior só é possível para determinados objetos, visto que, é necessário que o mesmo seja menor que a área de trabalho efetivo da máquina.

Dessa forma cabe a este trabalho observar as interações do tipo 2, estado mecânico x estado eletrônico, e 4, todos os estados, que vem tendo ocorrência efetiva nas pesquisas em andamento do laboratório e, apenas começaram a ocorrer com a introdução da tecnologia computacional gráfica nesses estudos.

Para que fique mais claro e exemplificado, a exposição dessas interações, do tipo 2 e 4, nos próximos itens, descreverei o passo a passo da introdução do desenho assistido por computador nas pesquisas citadas no item 3.1, ressaltando as contribuições dessa tecnologia ao enriquecimento da pesquisa.

3.4.1. Novo LILD

Como mostrado anteriormente, a aplicação da computação gráfica na pesquisa do LILD começou a ser analisada de forma sistemática quando da necessidade da confecção de desenhos e esquemas referentes às diversas soluções necessárias à concretização do novo espaço do laboratório, a ser montado no campus da PUC-Rio.

Esse novo prédio do laboratório é constituído basicamente de uma infraestrutura, já montada, que utiliza tecnologia metálica convencional, e, também, por uma série de elementos complementares, feitos conforme técnicas desenvolvidas no LILD, que utilizam principalmente bambus amarrados e terra crua. As adaptações desses elementos à infraestrutura existente depende de exaustivos experimentos, alguns referidos nessa dissertação.

Quando do início da aplicação da computação gráfica a estrutura metálica já estava definida e em finalização da montagem, e, dessa forma, ela foi apenas modelada em estado eletrônico, para que servisse de base ao desenvolvimento dos modelos de cobertura, do piso e do fechamento externo.

Dos elementos complementares à infraestrutura metálica cuja aplicação da tecnologia computacional gráfica fora verificada, até o momento, apenas a cobertura foi concretizadas em escala real, ou seja, está em estado de uso, e, portanto enquadra-se nas interações citadas do tipo 4 – interações entre todos os estados. Já o piso e o fechamento lateral ainda estão em desenvolvimento, através de modelos mecânicos e eletrônicos, e, portanto encaixam-se nas interações do tipo 2 – estado mecânico x estado eletrônico.

Desta forma, opto por fazer a descrição dos experimentos de aplicação da computação gráfica em relação à cobertura dessa construção, visto que, por apresentar inte-

rações entre todos os estados, exemplifica e demonstra com mais dados, e mais clareza, as contribuições dessa tecnologia ao desenvolvimento da pesquisa.

3.4.1.1. Cobertura

O início do processo de pesquisa para confecção da cobertura do novo LILD pode ser observado em Campos (2009). Tal pesquisador aponta que o partido adotado à inicialização desta pesquisa passou pela análise das estruturas de cascas, e pelos conceitos de superfícies mínimas, muito estudado por Frei Otto (OTTO, Tensile Structures, Volume One, 1967). Também foram estudadas e concretizadas bolhas de sabão, especialmente feitas para atender a parâmetros determinados dessa cobertura.

3.4.1.1.1. Experimento eletrônico 1

O primeiro modelo a ser confeccionado em estado eletrônico foi o referente ao experimento 19, exposto na pesquisa de Campos (2009). Partindo do modelo em estado mecânico, iniciamos as medições e a determinação de parâmetros a ser seguidos para fosse possível a passagem para o estado eletrônico. Dessa forma, optamos por iniciar exatamente como Campos (2009) vinha fazendo para obter o estado mecânico:

Fomos estabelecendo onde se localizavam as projeções das juntas [entre os bambus] 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 [figura 76]. 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. (p. 80)

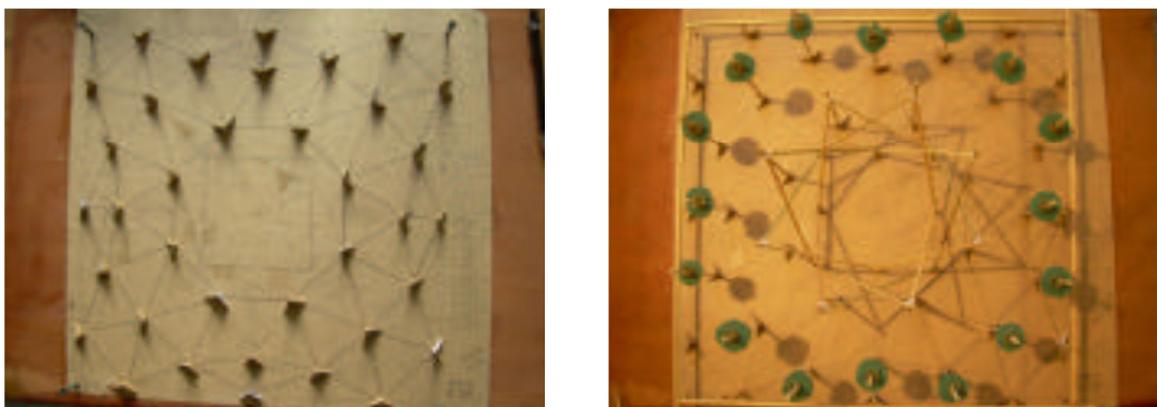


Figura 76 - detalhe do dispositivo utilizado por Campos - Campos (2009)

Obtive junto a tal pesquisador essa projeção do modelo em estado eletrônico apresentado em seu experimento 19. Assim sendo, passei a projeção para o computador ainda em desenho bidimensional, porém, diferente da utilizada para o dispositivo do modelo em estado mecânico, optei por já coloca-lo em escala 1:1, para que pudéssemos ter ideia das dimensões reais que este modelo apresentaria. Também foi confeccionada uma planta da estrutura metálica da base do novo prédio em linguagem eletrônica, para observarmos as relações entre os pontos de junção das peças desse modelo de cobertura e os pontos estruturais da treliça metálica onde tal cobertura seria montada.

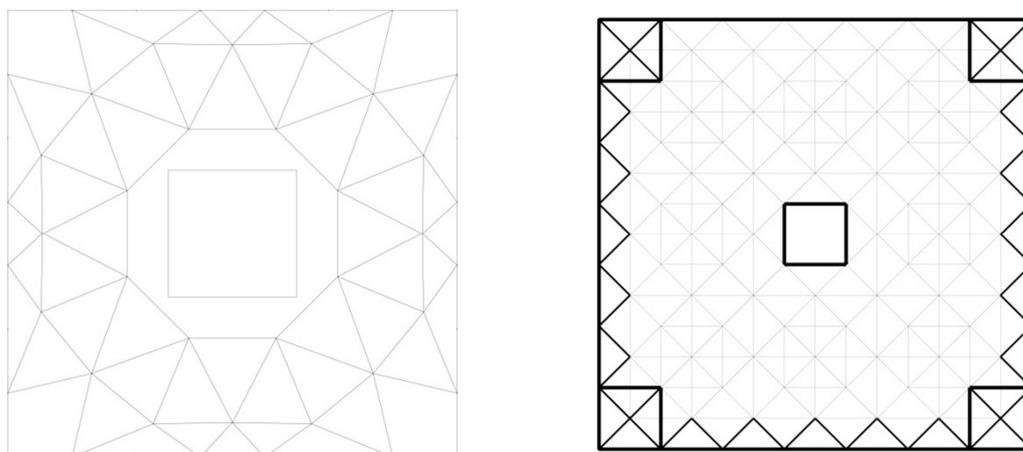


Figura 77 - projeção do experimento 19 e planta da estrutura metálica em desenho eletrônico bidimensional

A partir dos pontos obtidos na projeção, em conjunto com a planta da estrutura metálica, busquei, então, as alturas referentes a cada um deles, para que, dessa forma, fosse possível criar uma “nuvem de pontos”, que seriam os pontos das junções pontuais entre os colmos de bambu formadores da geometria desse modelo (figura 78).

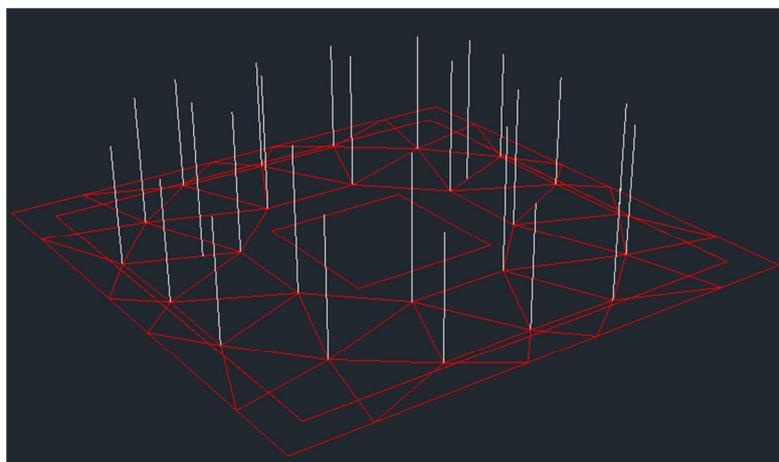


Figura 78 - Nuvem de pontos

Com essa nuvem de pontos em mãos, o próximo passo foi liga-los, possibilitando dessa forma a visualização do *wireframe* da geometria pretendida (figura 79). Vale lembrar que as alturas traçadas para a obtenção da nuvem de pontos, referem-se ao último piso da infraestrutura metálica; porém, a altura referente às bordas encontra-se na última camada de tubos de tal infraestrutura, como pode ser visto na figura 48.

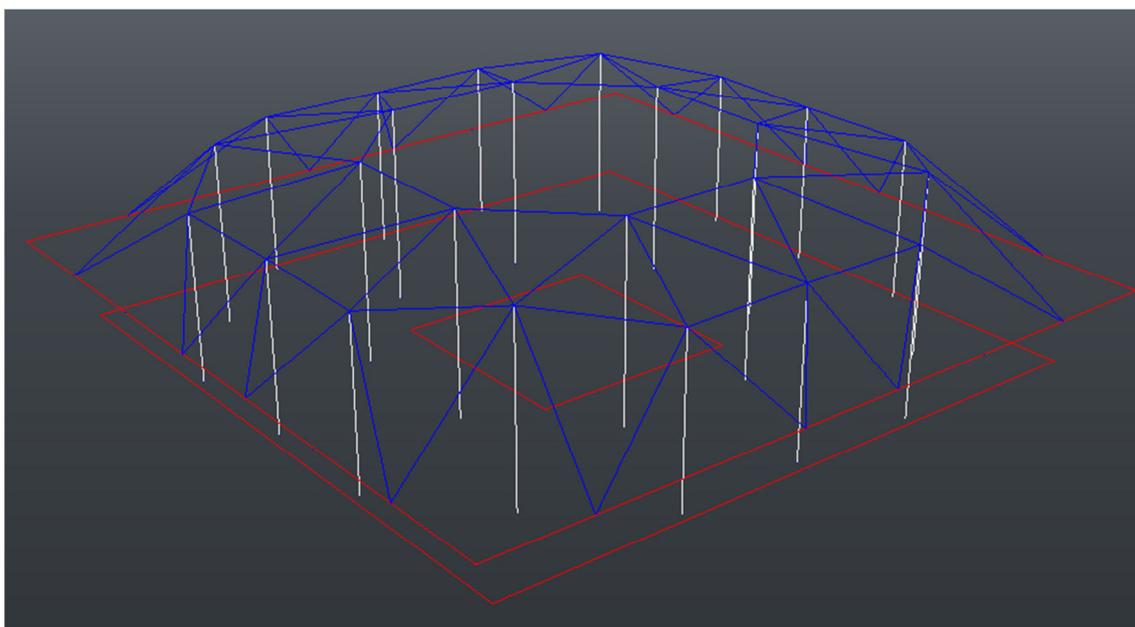


Figura 79 - *Wireframe*

Feito o *wireframe*, começamos a modelagem propriamente dita. Através das retas do *wireframe*, em azul na figura 79, e sabendo anteriormente que o diâmetro dos colmos que formariam essa estrutura seria de, em média, dez centímetros, apliquei, então, o comando *sweep*, ou “varredura”. O funcionamento desse comando é um tanto quanto simples. Após desenhar um círculo com o diâmetro desejado, no caso dez centímetros, acionamos o comando, selecionando esse círculo e uma das retas azuis vistas no *wireframe* - aquelas que ligam os pontos da nuvem. Em continuidade, o comando cria um sólido com a forma fechada inicial, no caso o círculo, seguindo por um caminho, no caso a reta do *wireframe*, formando, assim, cilindros que representam os colmos de bambu. Pelo fato de as retas já estarem em suas posições na geometria pretendida, os cilindros obtidos também ficaram nessas posições (figura 80).

Além da cobertura, iniciamos também a modelagem dos elementos da infraestrutura metálica existente. Por se tratar de uma estrutura modular, o ponto chave de sua modelagem foi a confecção das peças formadoras da mesma, que são duas: as barras, e as juntas que as une. Dessa forma, fiz uma medição de cada um desses elementos, mo-

delando-os de forma padrão. Modelados os dois fiz então a montagem em ambiente eletrônico da infraestrutura do laboratório, para que, assim como no estado de uso, servisse de base à cobertura (figura 81).

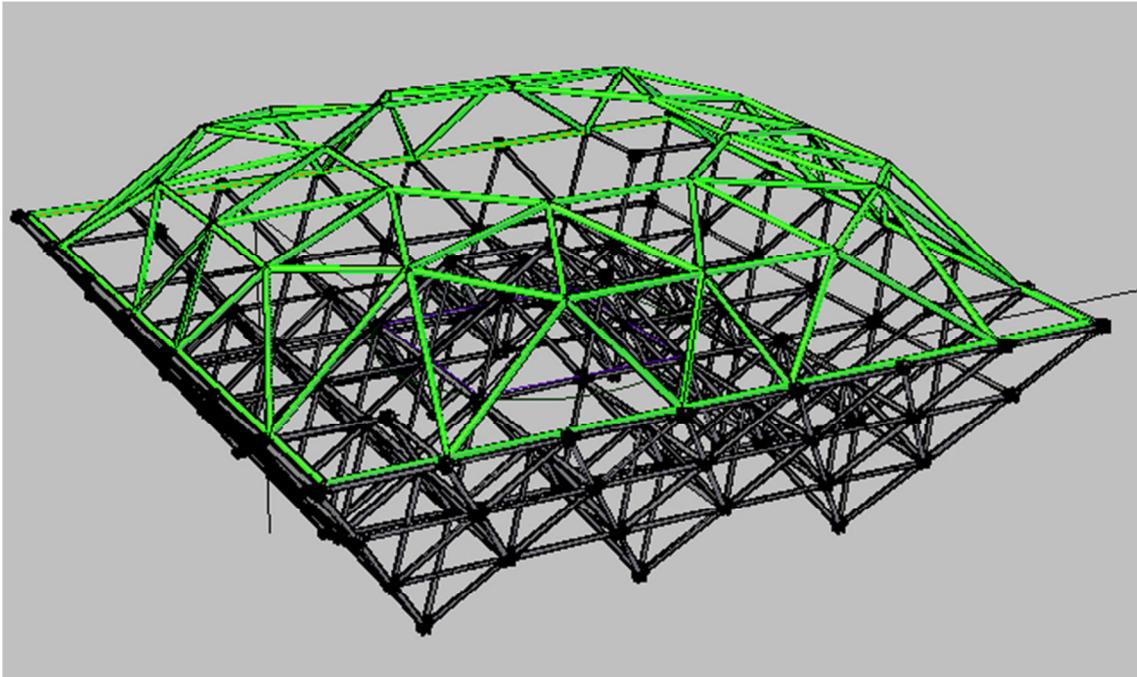


Figura 80 - Geometria pontual apoiada na infraestrutura metálica



Figura 81 - Detalhe eletrônico das peças da infraestrutura metálica já existente

Assim como no estado mecânico, após encontrar a geometria pontual da retícula formadora da cobertura, iniciei o processo para obter a geometria em “giro”, técnica característica do laboratório, e de fundamental importância para que fosse possível a montagem com bambus, visto que tais colmos apresentam certas irregularidades entre si em seu sentido longitudinal. Inicialmente dividi em quatro quadrantes a geometria pontual, e em seguida, seguindo o estado mecânico, separei por cores as barras, para facilitar a visualização das barras mais parecidas quanto ao tamanho (figura 82).

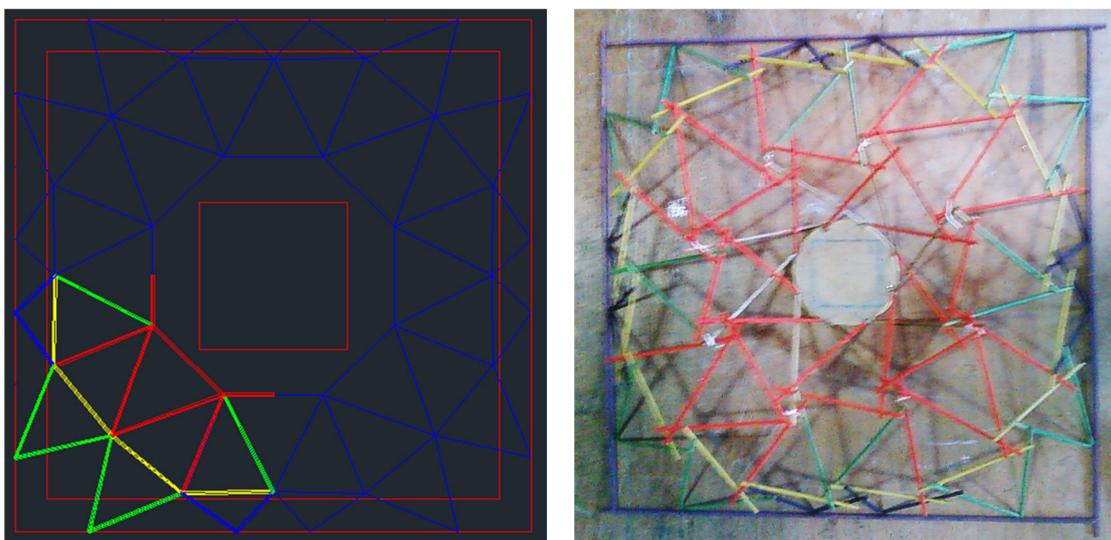


Figura 82 - Vista superior do estado eletrônico e do estado mecânico

Observando a figura 82, podemos notar que se trata de uma geometria simétrica, ou seja, espelhando esse quarto modelado, conseguimos obter a geometria completa da cobertura. Dessa forma, comecei a girar as barras manualmente, apenas desse quarto, esperando que, posteriormente, pudesse simetrizar a estrutura. Para girar essas barras comecei selecionando ela e a linha azul do *wireframe* referente à mesma, para posteriormente aplicar o comando *rotate*, ou “rotacionar”. Essa linha do *wireframe* foi necessária para que tivesse pontualmente o centro da barra, pois, analisando o estado mecânico, percebi que esse é o ponto de pivotagem da peça quando introduzimos o giro.

Ao iniciar a rotação das peças, deparei então com algo que não acontece no estado mecânico. Como já explicado, o ambiente eletrônico é um ambiente de geometria euclidiana/cartesiana, e, portanto, qualquer ação a ser feita precisa estar de acordo com essa lógica precisa. Dessa forma, ao rotacionarmos as peças, só conseguimos fazê-lo em

um plano paralelo ao *viewpoint*⁴ utilizado no momento; ou seja, se estamos trabalhando na *viewpoint* superior ele gira apenas nos eixos X e Y, se estamos trabalhando na *viewpoint* lateral ele gira apenas nos eixos Z e Y. Dessa forma seria necessário encontrar um plano tangente à geometria geral da peça relativo ao ponto de rotação, ou trabalhar com tentativa e erro. Além disso, a geometria em giro exige uma segunda rotação de barra em relação ao eixo, isso porque ao substituirmos a junta pontual por essa nova em giro, em uma extremidade o bambu se encaixa por cima da outra barra, já na outra, encaixa-se por baixo (figura 83).



Figura 83 - bambu em giro, detalhe para as extremidades em posições diferentes

Devido à complexidade da forma e a dificuldade de obter os planos perpendiculares ao eixo da peça, assim como, a não necessidade de uma precisão tão grande - visto que o próprio colmo não é tão preciso quanto as suas dimensões -, optei aplicar o giro por tentativa e erro.

Comecei a girar as peças de cores diferentes seguindo a lógica observada no modelo em estado mecânico, que pode ser visto na figura 82. Modificando os parâmetros dos sistemas de coordenada do programa, o que é possível ao utilizar o comando UCS⁵, foi possível modificar o ponto de origem, assim como a orientação dos planos X, Y e Z, de modo a facilitar a determinação dos planos de rotação das peças, diferentes em cada uma delas.

⁴ *Viewpoint* é o ponto de vista relativo aos planos geométricos (superior, frontal, laterais, posterior, inferior e, perspectivas), que, quando solicitados apresentam o desenho segundo a visão relativa a esses planos.

⁵ UCS – User Co-ordinate System – sistema de coordenadas definido pelo usuário

Apesar de trabalhoso, e demorado, consegui aplicar o giro à geometria no quarto da estrutura que havia sido modelado. Uma resposta interessante observada ao termino da aplicação do giro, foi que as dimensões da geometria pontual, quando giradas, encaixam-se harmonicamente, e, com isso, podemos estender cada peça o mesmo valor absoluto para que se encaixe no giro; ou seja, duas peças, umas de um metro e meio e outra de três metros, receberão os mesmo trinta centímetros a mais em cada extremidade para que se encaixem no giro.

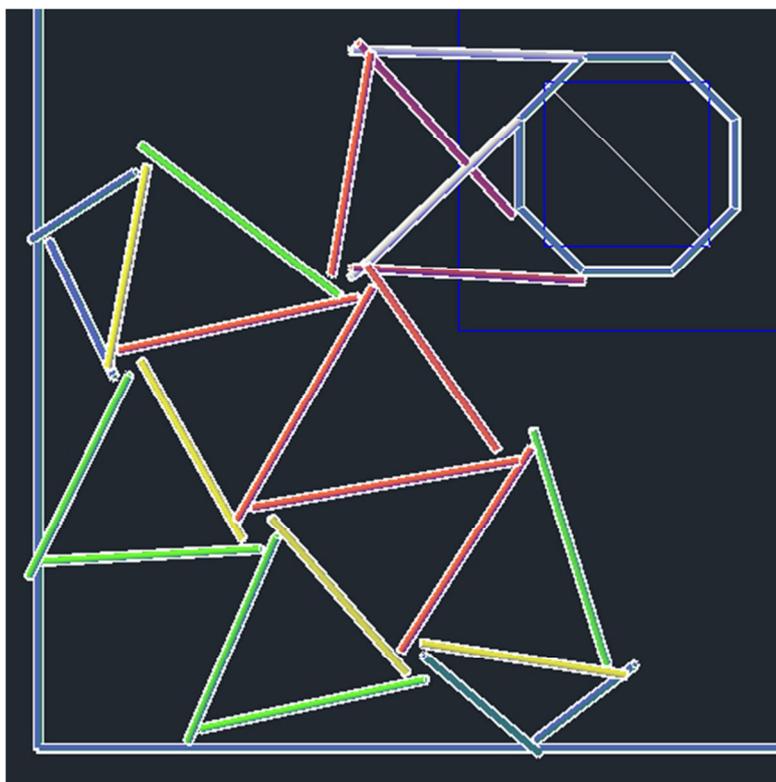


Figura 84 – Vista superior de um quarto da estrutura em giro

Aplicado o giro em um quarto da geometria, iniciei os testes para aplica-lo em toda a estrutura. Como visto anteriormente, a geometria pontual permite ações de simetria, por isso foi o primeiro movimento que tentei. Selecionei esse quarto, e por meio do comando *Mirror*, ou espelhar, rebati algumas vezes essa parte até completar o todo da estrutura. Não deu certo. Não aconteceu o giro como era esperado, levando-nos a refletir sobre o porquê de isso ocorrer, visto que pensávamos ser uma geometria simétrica, exatamente como a geometria pontual.

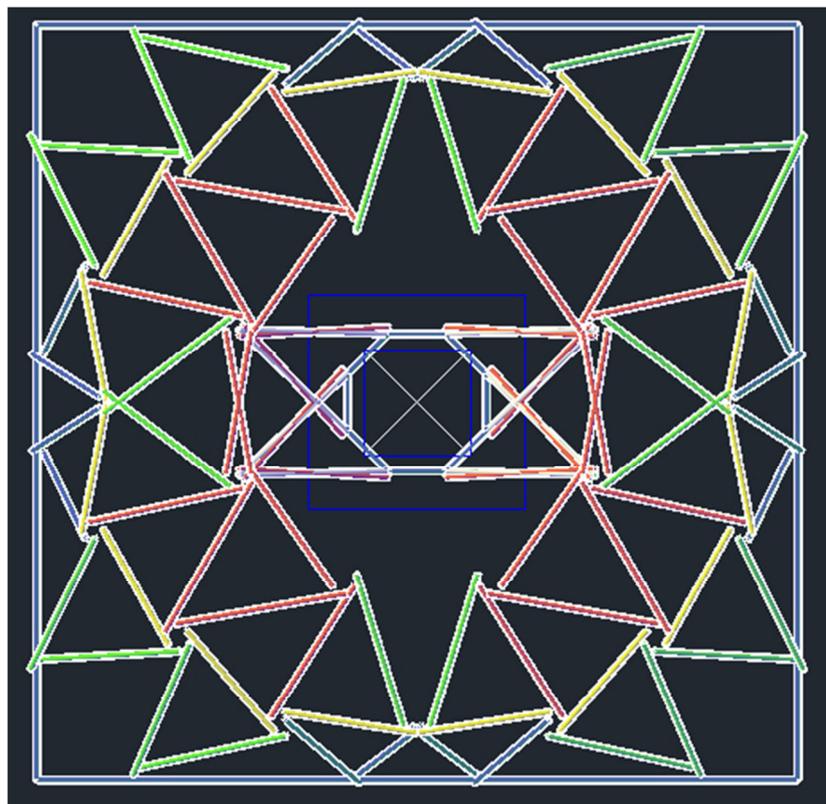


Figura 85 – Vista superior em simetria, não foi obtido o giro no todo

Pensando sobre o termo giro, e o que foi feito para obter a junta girada no um quarto da estrutura modelado, percebemos que a simetria era uma contingencia, pois apesar de ortogonalmente oposto, a estrutura pontual completa poderia ser obtida por meio da rotação de tal quarto modelado. Desse modo, voltei ao quarto em giro, e apliquei o comando *Rotate*, rotacionar, estabelecendo o centro de rotação na diagonal do quadrado interno da estrutura, que pode ser visto no canto superior direito da figura 84, e determinando uma rotação de noventa graus. Fiz isso para os outros dois quartos restantes, assim, consegui obter a geometria completa em giro (figura 86).

Esse passo foi muito importante para o entendimento do funcionamento da geometria com as juntas em giro. Isso ocorreu devido ao fato da diferença de obtenção dessa geometria nos diferentes estados. Diferente do modelo em estado eletrônico - processo acima demonstrado -, no estado mecânico essa geometria é obtida por meio de sobreposição de miniaturas. Faz-se uma miniatura com a geometria pontual, depois, prende-se a cada barra uma outra extra, de dimensão maior, que é girada no ponto central e amarrada em giro às outras barras extras, formando, assim, uma segunda geometria apoiada na primeira, como pode ser visto na figura 87.

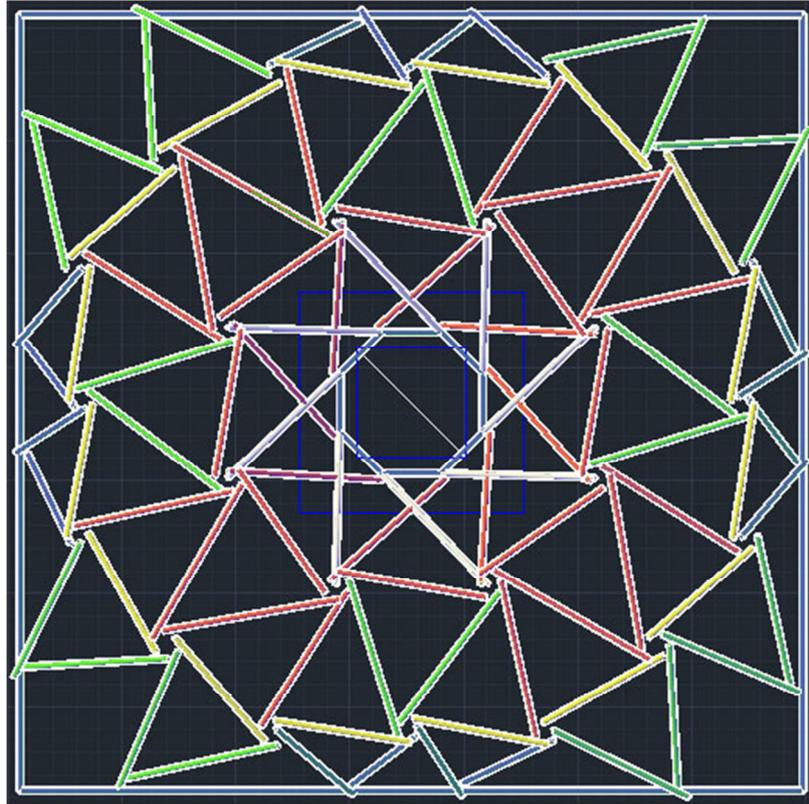


Figura 86 – Vista superior da estrutura completa em giro obtida pelo comando rotacionar



Figura 87 - Miniatura em giro sendo montada por cima da miniatura com juntas pontuais –(Campos, 2009)

Percebe-se, dessa forma, que por meio do processo de obtenção da geometria em giro no estado mecânico, o foco do trabalho fica em cada barra individualmente, além disso, a impossibilidade de observação plana da estrutura completa dificulta, e muito, a visualização do “giro geral” que ocorre no todo. Por outro lado, a confecção da geometria em giro no estado eletrônico é muito mais complexa no que se refere à posição individual de cada barra e as rotações necessárias para colocá-las na posição correta; no entanto, a obtenção da geometria geral é, um tanto quanto, mais fácil, e, inclusive, esse processo eletrônico – por meio do comando rotacionar - nos induz à visualização de um “giro geral” da estrutura, presumido, porém, não tão claramente observado anteriormente a introdução da tecnologia computacional gráfica.

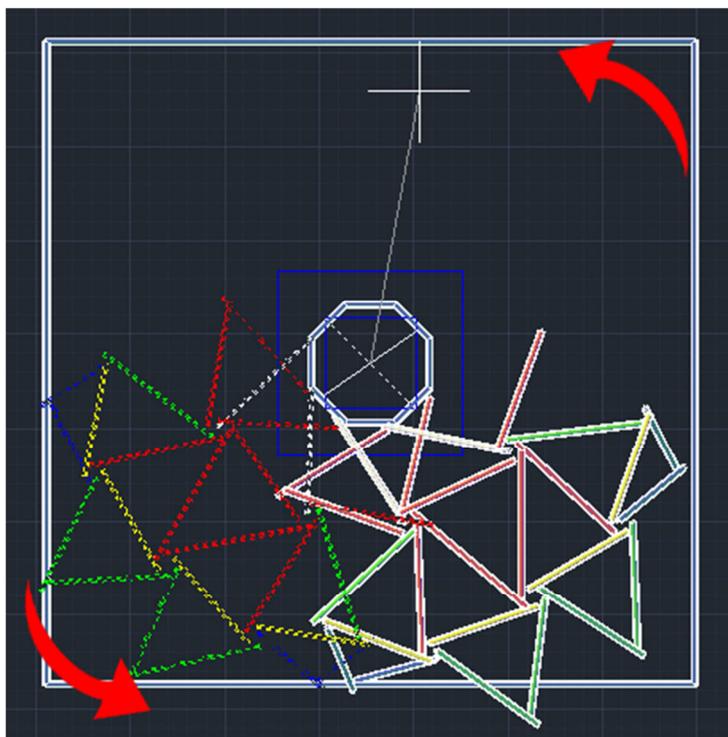


Figura 88 – Vista superior da aplicação do comando rotacionar e obtenção do "giro geral" - as setas indicam a direção da rotação, igual a das juntas em giro

Terminada a aplicação do “giro geral” e, conseqüentemente, a estrutura pretendida com as conexões em giro, parti, então, para as adaptações das peças à geometria em giro, assim como, à parametrização das mesmas, de modo a obter a quantidade de peças de cada medida diferente, indicadas pelas cores, tanto no estado mecânico quanto no estado eletrônico.

Dessa forma prolonguei as peças com a medida suficiente para que se apoiassem na peça subjacente da junta em giro. Como dito anteriormente, a medida do prolonga-

mento foi igual em todos os tipos de peça. Com isso, obtivemos o modelo em estado eletrônico com todas as características inerentes a essa pesquisa, exatamente como ocorre no estado mecânico desse modelo.

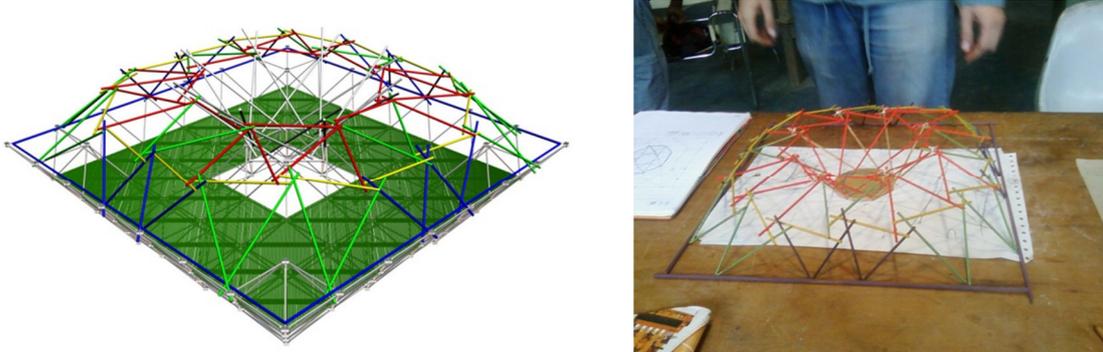


Figura 89 - estado eletrônico e estado mecânico em giro

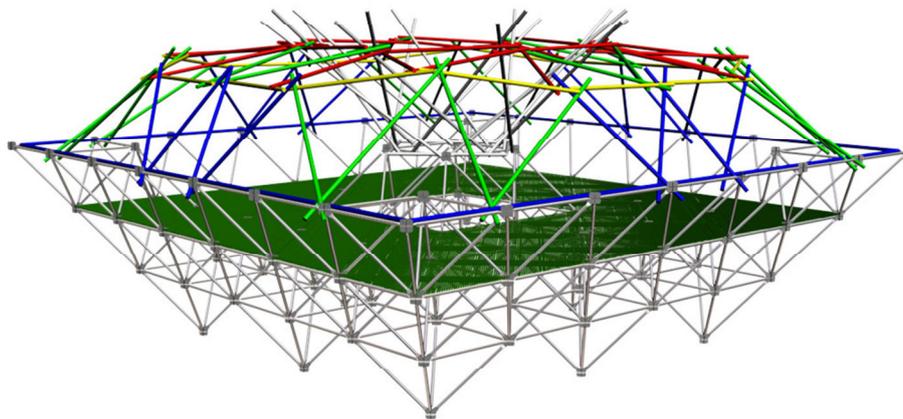


Figura 90 - Perspectiva do estado eletrônico do experimento 19 de Campos montado na estrutura metálica básica

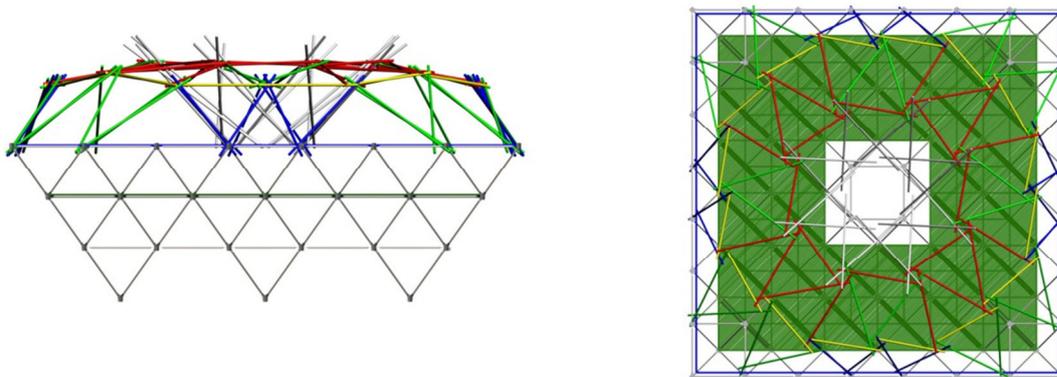


Figura 91 - Vista e planta do estado eletrônico do experimento 19

Finalizada a geometria pretendida, e em posse do modelo nos estados mecânico e eletrônico, optamos pela confecção de um novo estado mecânico em uma escala maior. Dessa forma, decidimos montar esse novo estado em escala 1:10, para que fosse possível a previsão dos movimentos de montagem do objeto em escala de uso, além de uma visão ampliada da parte interna no espaço coberto.

Destarte, buscamos as medidas das barras obtidas por meio do estado eletrônico acima descrito, e encontramos noventa e seis peças de cinco tamanhos diferentes, e desse montante, apenas dezesseis aproveitavam a dimensão total, de seis metros, dos bambus que dispúnhamos para tal montagem. Em seguida, partimos para a montagem dessa miniatura em escala 1:10 (figura 92), descrita por Campos em seu “experimento 20” (2009, p. 96).

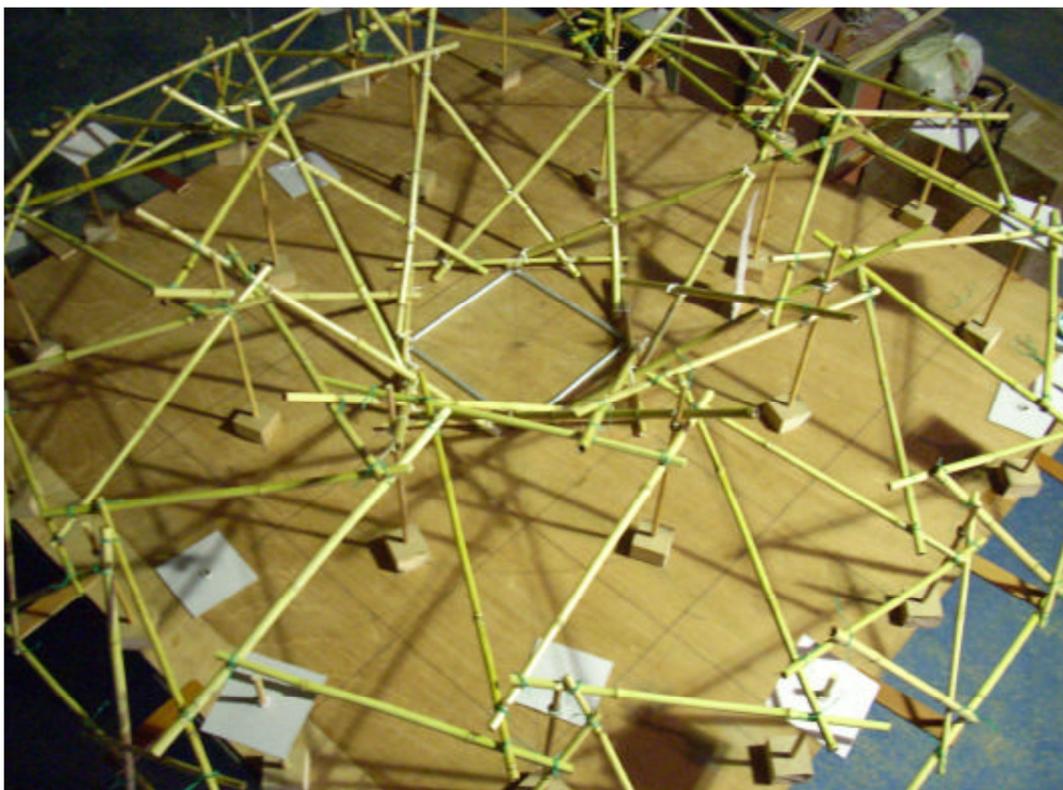


Figura 92 - Miniatura em escala 1:10, medidas baseadas no modelo em estado eletrônico - (Campos, 2009)

3.4.1.1.2. Experimento eletrônico 2

Seguindo o processo de desenvolvimento da cobertura do novo espaço do LILD, ainda não estávamos cem por cento satisfeitos com as soluções apresentadas anteriormente, devido à quantidade excessiva de barras e tamanhos dessas barras.

Optamos por fazer uma nova miniatura da infraestrutura metálica na escala 1:25, para que pudéssemos estudar uma nova geometria que se utilizasse de bambus maiores e conseqüentemente menos barras na estrutura. Vale acrescentar que decidimos fazer, nessa miniatura, apenas o ultimo nível da estrutura metálica, de modo a economizar tempo na feitura (figura 93).



Figura 93 – Miniatura da infraestrutura metálica em escala 1:25

Finalizada a infraestrutura metálica, iniciamos o processo de obtenção da nova geometria da cobertura. Ficávamos olhando os magníficos bambus de seis metros de comprimento que iriam ser cortados para a solução descrita no item anterior, e sentíamos pena de cortá-los. Dai provavelmente surgiu a solução. De posse de uma série de varetas representando os bambus de seis metros, verificamos as possibilidades do uso dos bambus inteiros. A solução encontrada, por incrível que pareça, foi bastante simples, um conjunto de tripés e quadripés de amplo uso como andaimes de construções passadas, amarrados à estrutura metálica, interligados por colmos também de seis metros (figura 94, 95 e 96).

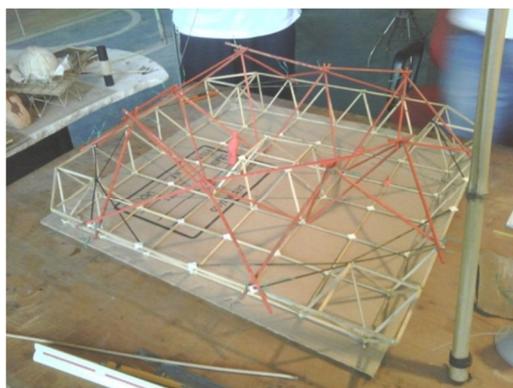


Figura 94 - Nova geometria com bambus do mesmo tamanho

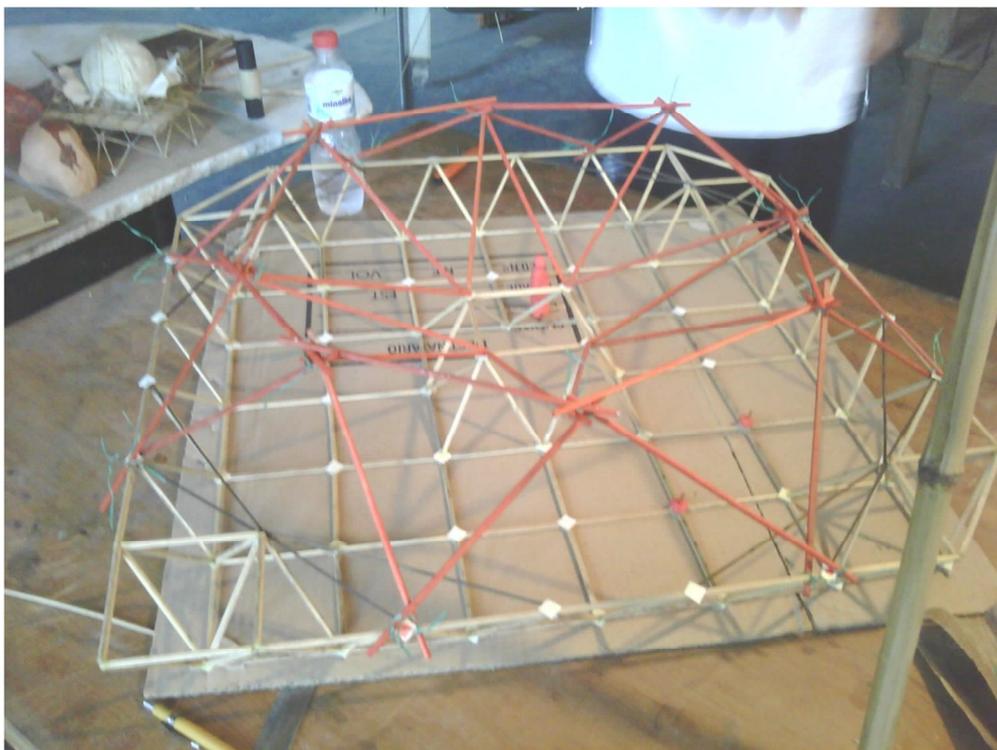


Figura 95 - Nova geometria com bambus do mesmo tamanho

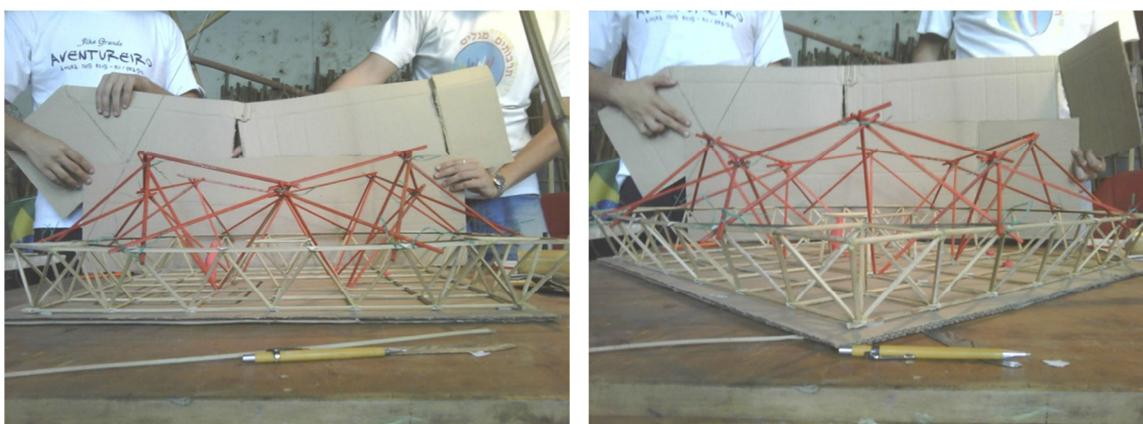


Figura 96 - Vistas da nova geometria com bambus do mesmo tamanho

Encontrada a geometria básica, iniciamos a confecção do estado eletrônico desse novo modelo da estrutura da cobertura do novo espaço do laboratório. Como no modelo anterior, comecei pelas dimensões gerais da infraestrutura metálica, e com o auxílio de um pequeno fio de prumo, obtive a projeção dos topos dos tripés e quadripés formadores da geometria, e suas respectivas alturas. Dessa forma, novamente, tinha em mãos uma nuvem de pontos, que ligados formariam o *wireframe* básico desse novo modelo.

A primeira dúvida que surgiu foi em relação aos pontos de ancoragem da parte interna na estrutura metálica. Havia duas possibilidades, apoiá-los nas juntas da parte inferior do prisma interno da estrutura metálica – como pode ser visto na figura 94 –, ou

apoia-los na parte da estrutura relativa ao perímetro superior – como pode ser visto na figura 95. Nesse primeiro momento, optamos, então, por apoiá-los em bambus que seriam erguidos até a altura do prisma interno por suportes ancorados nas juntas da parte inferior desse mesmo prisma. Desse modo obtivemos a geometria que pode ser vista na figura 97.

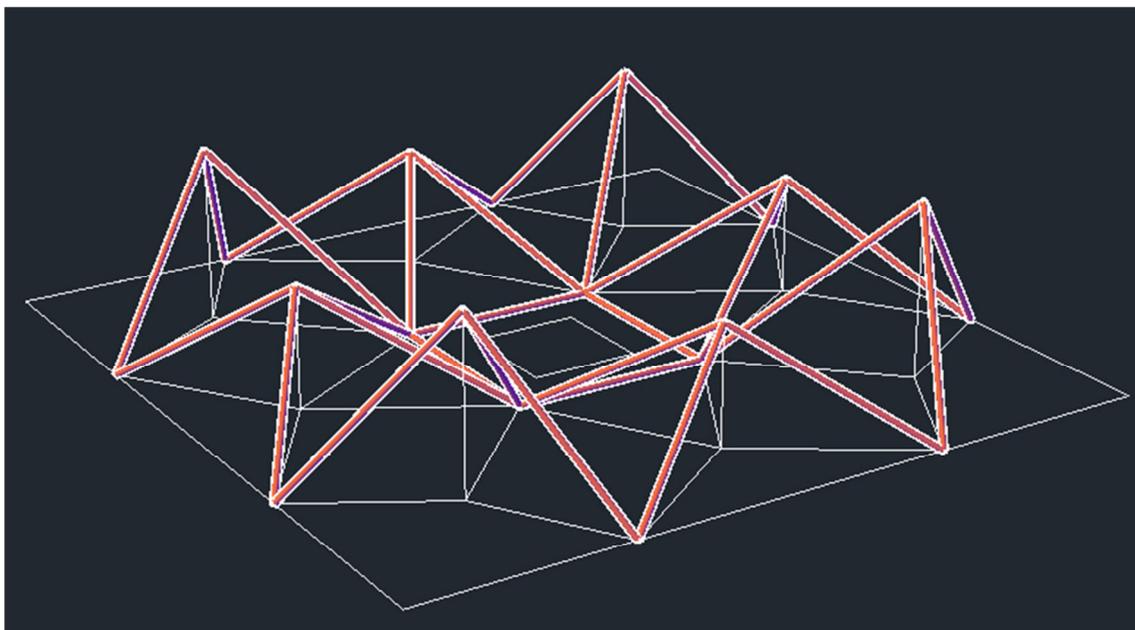


Figura 97 - Nova geometria de tripés e quadripés. Junta pontual.

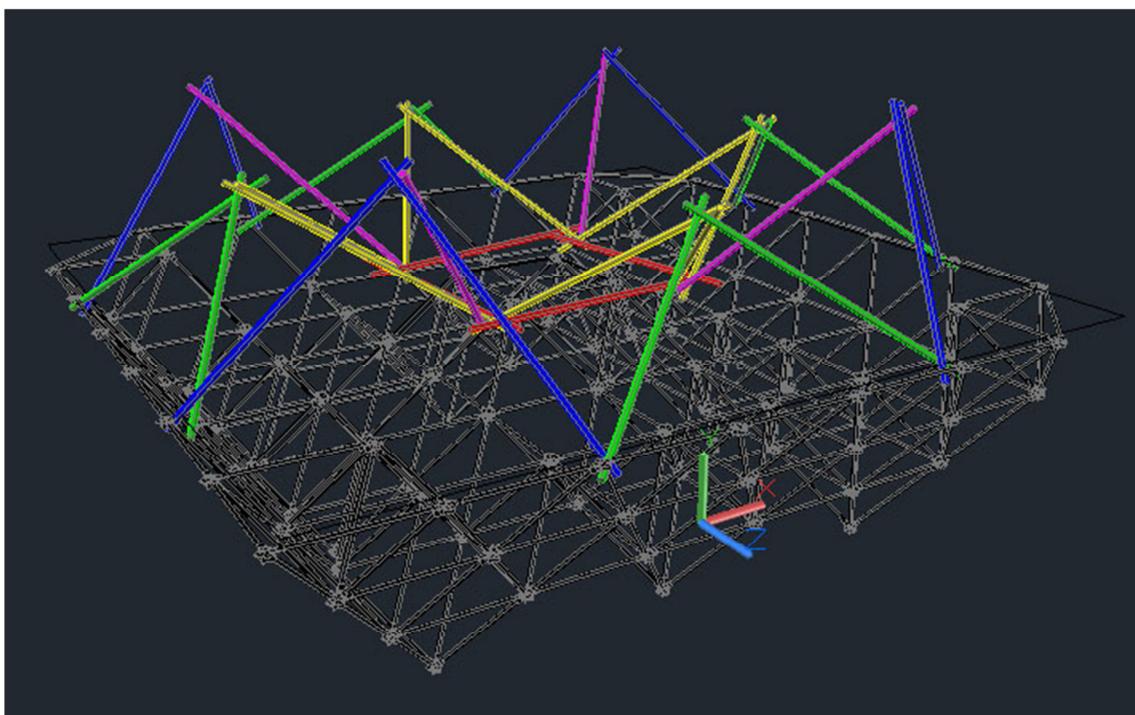


Figura 98 - Nova geometria em giro montada na infraestrutura metálica

Encontrada a nova geometria para a estrutura de bambus, iniciamos os estudos do posicionamento do elemento que cobriria o espaço. A princípio, seguimos a geometria indicada no experimento com a bolha de sabão. A cobertura teria duas águas separadas por uma cumeeira. Uma dessas águas é perimétrica e joga a água da chuva para fora da construção. A outra, interna, joga a água da chuva para o centro da construção, como o *impluvium* romano. Dessa maneira seriam utilizadas duas técnicas estruturais na cobertura. A cobertura que joga para fora, funcionaria como uma casca; a segunda seria uma lona têxtil tensionada com ancoragem interna (figura 99).

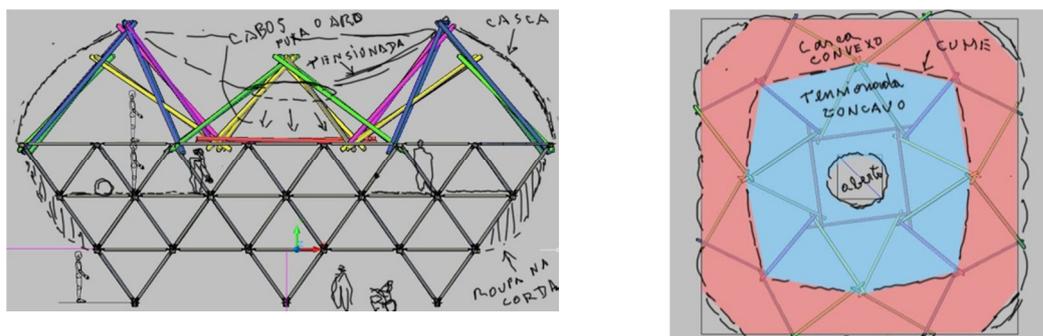


Figura 99 - desenhos esquemáticos eletrônicos feitos pelo Ripper para explicar as partes constituintes do elemento de cobertura. Em vermelho a casca, em azul a lona.

Devido ao fato de ainda não termos à disposição a técnica para a construção de uma casca com tais dimensões em barro, além de termos urgência em cobrir a infraestrutura metálica - a fim de protegê-la -, optamos por substituir essa parte por lona tensionada - assim como a parte interna - mais viável em curto prazo. Para definirmos as disposições da lona, construímos duas miniaturas para testes. Na primeira, a lona seria pendurada na estrutura de bambus, que ficariam no exterior, e a parte interna seria apoiada nessa mesma estrutura; já na segunda miniatura, a lona seria toda apoiada na estrutura e os bambus ficariam cobertos pela lona (figura 100).



Figura 100 - Primeira e segunda opção de colocação das lonas

Optamos pela segunda forma, ou seja, apoiáramos a lona por nos tripés e quadripés. Essa opção seria mais simples de montar, além disso, apenas uma lona cobriria todo o espaço. Desse modo, após estudos na miniatura na escala 1:25 (figura 101), fizemos um experimento em escala 1:1 (figuras 102 e 103), para entendermos “ao vivo” as movimentações e interações entre os elementos constituintes da cobertura. Nesse experimento utilizamos rede no lugar da lona, visto que a trama da primeira permite a visualização das curvas descritas inerentes à geometria de superfícies mínimas sem a necessidade de modelagem.



Figura 101 - Vistas do interior da miniatura na escala 1:25.



Figura 102 - Experimento de montagem de parte da estrutura de bambu com rede em escala 1:1



Figura 103 - Experimento de montagem de parte da estrutura de bambu com rede em escala 1:1

Observadas as dificuldades de montagem, e os espaços que se formaram, decidimos alterar o local de ancoragem das peças de bambu. Antes colocados no último nível de tubos da infraestrutura metálica, consideramos que seria complicada essa disposição dos colmos, pois os esforços da lona teriam dificuldade se serem absorvidos pela borda da estrutura metálica, que não estava preparada para isso. Dessa forma, apoiaremos os bambus na base de tal borda, e exatamente em cima de uma das juntas da infraestrutura metálica. Os pontos de ancoragem da parte interna da geometria foram mantidos no último nível de tubos, porém, no lugar de apoiarmos em bambus suspensos ao nível do prisma central, resolvemos amarrá-los no prisma, pois facilitaria a montagem e não comprometeria a parede, visto que, pelo seu formato, o prisma interno resistiria aos esforços.

Aplicamos as modificações no estado eletrônico do modelo, a fim de utilizar sua precisão numérica no desenho da lona a ser confeccionada. Desse modo, seguindo os mesmos passos da obtenção do estado eletrônico dos modelos anteriores, modelamos a nova geometria da estrutura e desenhemos os planos do que viria a ser a geometria da lona de cobertura. Analisando as imagens advindas do estado mecânico, optamos por confeccionar uma lona plana sem modelagem. Apesar de entendermos a especificidade

técnica de uma lona modelada (OTTO, 1969), com cortes e soldagens em linhas curvas, optamos pela lona plana por ser mais econômica, além disso, as pregas que se formariam - devido a não modelagem - seriam discretas pelo tipo da geometria da cobertura e pela qualidade da lona que se deformaria, absorvendo grande parte dessas pregas que se fariam pelo excesso de área do pano.

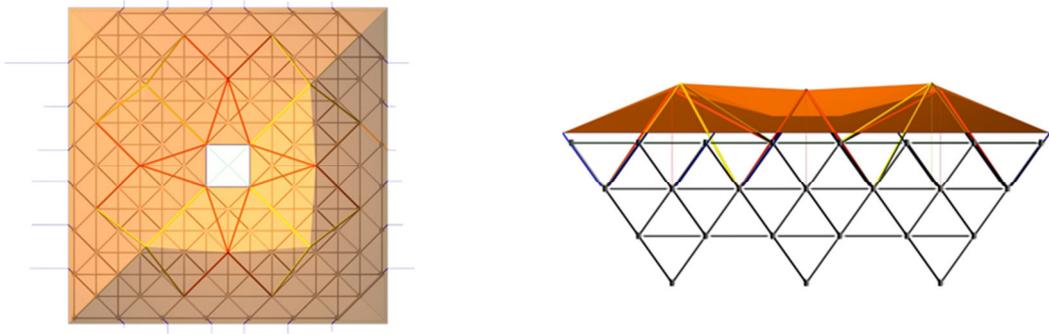


Figura 104 - Planta e vista da nova geometria e aplicação da lona (em laranja)

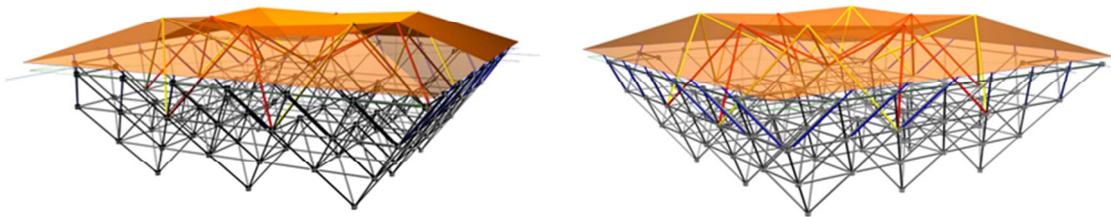


Figura 105 - Perspectivas da nova geometria e aplicação da lona

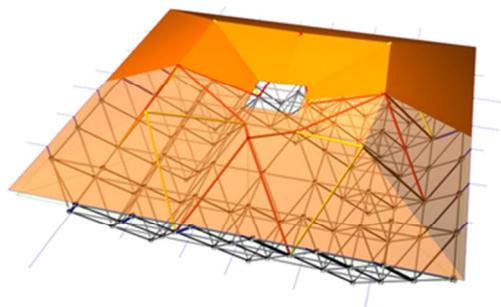
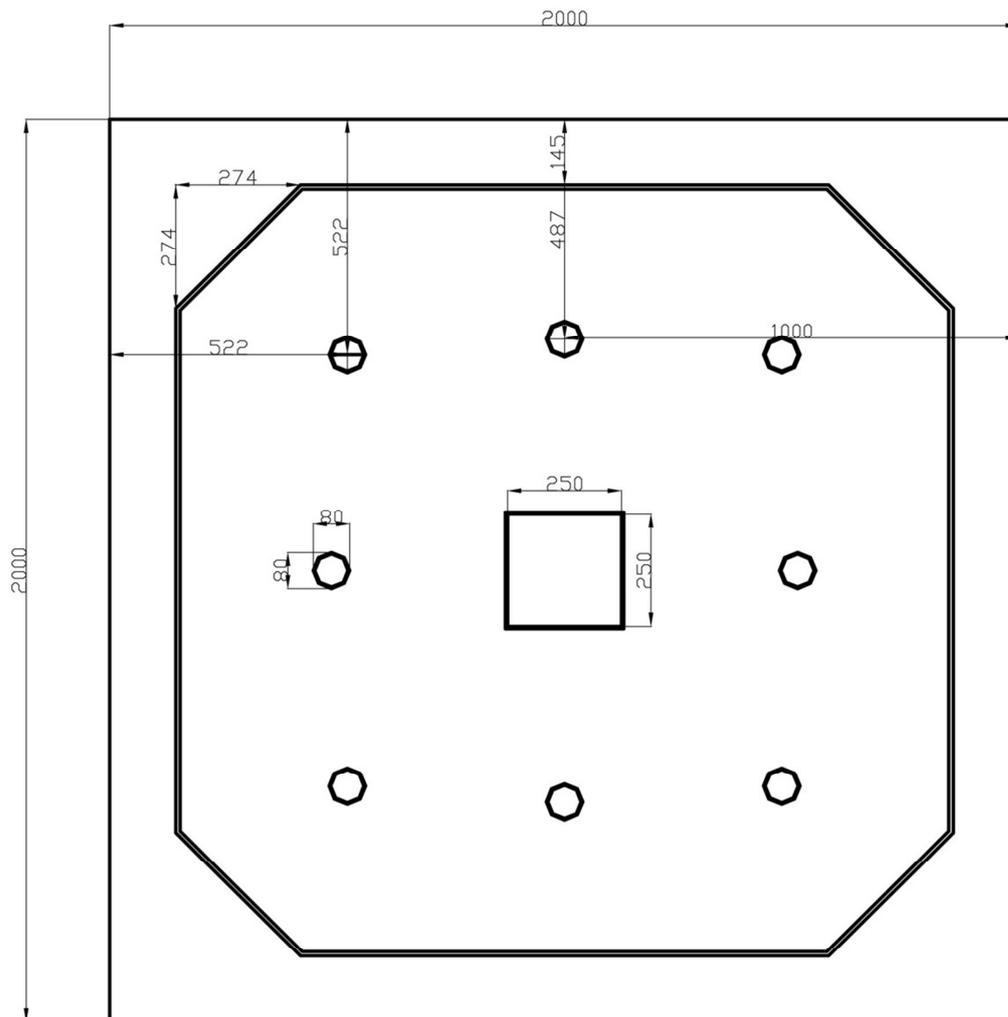


Figura 106 - Aplicação da lona

Encaminhamos o desenho da lona, como pode ser visto na figura 107, para a empresa responsável por sua confecção. Colocamos reforços nas interfaces entre a lona e os bambus (os círculos vistos na figura 107), além de uma barra onde ficariam os ilhoses que seriam utilizados para o tensionamento da mesma.



medidas em centímetros

Figura 107 - Desenho de produção da lona projetada

Toda a equipe do laboratório foi mobilizada em turnos para a montagem da cobertura em estado de uso (figura 108). Os tripés e quadripés foram amarrados no chão - visto que ainda não tínhamos piso no andar onde seria montada a estrutura de bambus - por meio de nós do tipo “volta do fiel”, confeccionados com cordas de polipropileno trançado 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. Optamos por não colocar os colmos que ligariam os topos dos tripés e quadripés, devido à dificuldade de montagem.

Tensionamos a lona onde possível, visto que uma parte dela foi deixada dobrada pelo fato da existência de uma árvore que deveria passar por dentro da mesma. Devido à 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 d'água se formaram, rasgando a lona em vários pontos. Por outro lado, vale lembrar que a estrutura de bambus não colapsou, apesar dos enormes esforços devido a esses bolsões de água.



Figura 108 - detalhes da montagem feita pela equipe do LILD



Figura 109 - detalhes das amarrações da base e espaço interno



Figura 110 - Montagem finalizada. Detalhe para as pregas.

Devido a esse contratempo, retornamos às miniaturas e aos desenhos eletrônicos para resolvermos os problemas e, de fato, conseguirmos concretizar no estado de uso essa pesquisa. Como a estrutura de bambu não colapsou, resolvemos que ela seria mantida. Para remonta-la acertamos as alturas das amarrações dos tripés e quadripés, de modo a parametrizá-los de acordos com os dados obtidos pelo estado eletrônico. Além disso, adicionamos as barras horizontais que interligam os topos dos tripés e quadripés, distribuindo, assim, melhor os esforços na lona, e impedindo que rasgasse pontualmente como ocorreu com a primeira.

Quanto à modelagem da lona, conseguimos um programa de obtenção de superfícies mínimas; porém, por se tratar de uma versão demonstração não tivemos acesso a todas as ferramentas do mesmo. Por outro lado, a ferramenta “*formfinder*” - responsável pela obtenção da geometria - era funcional, e dessa forma, foi possível projetar a nova lona que cobriria o novo prédio do laboratório.

Utilizando a mesma “nuvem de pontos” confeccionada para a obtenção da geometria da estrutura de bambus – não pude usar a estrutura em estado eletrônico por motivo de incompatibilidade entre os softwares – conseguimos modelar as lonas com as curvas inerentes à geometria das superfícies mínimas.

Esse fato gerou uma inversão na ordem vista na utilização da linguagem eletrônica dentro da pesquisa do LILD. Normalmente o estado eletrônico servia de apoio ao estado mecânico. Este último era, na maioria das vezes, o responsável pela concepção formal dos objetos em desenvolvimento, enquanto o primeiro servia de apoio quantitativo a ele. Nesse caso, isso se inverteu. A forma da nova lona foi obtida por meio do estado eletrônico, e o estado físico desse novo modelo foi confeccionado posteriormente.

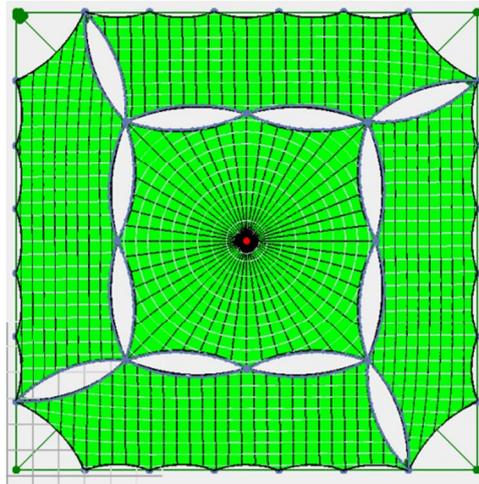


Figura 111 - Nova lona em planta

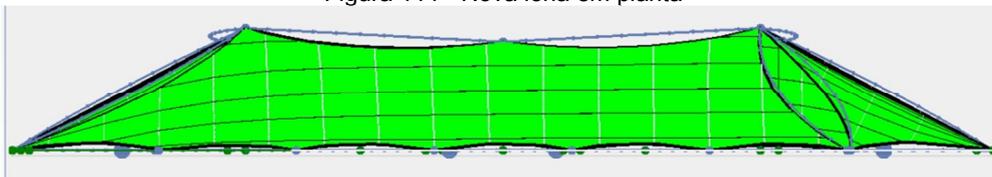


Figura 112 - Nova lona em vista

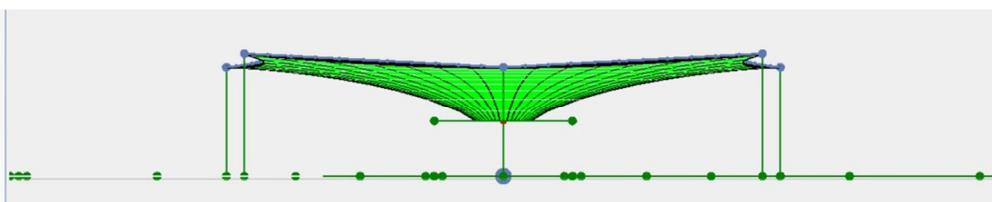


Figura 113 - Nova lona parte interna em vista

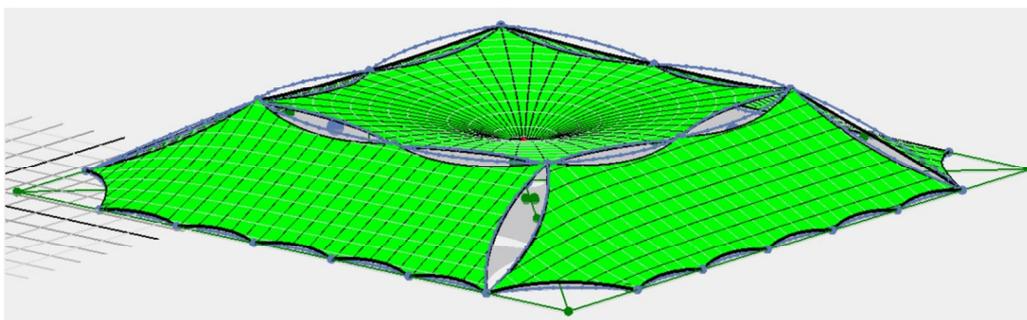


Figura 114 - Nova lona em perspectiva



Figura 115 - Perspectivas do espaço coberto pela lona em estado mecânico

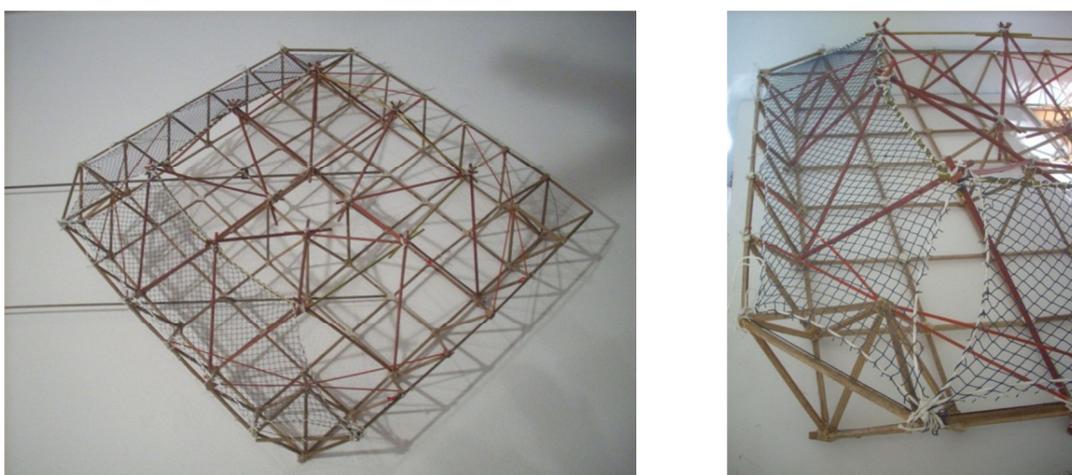


Figura 116 - Modelo da nova lona em estado mecânico

Com os dados gerados, tanto pelo estado eletrônico, quanto pelo estado mecânico, resolvemos que a equipe do laboratório montaria novamente a estrutura de bambus que suportaria a lona, e a lona seria encomendada a uma empresa especializada, que além da confecção, seria responsável também pela montagem e tensionamento da mesma. A modelagem da lona seria prismática, já que o custo de uma modelagem curva sairia de nosso orçamento. Dessa forma concluímos essa fase da pesquisa, concretizando o modelo em estado de uso da cobertura do novo espaço do LILD.



Figura 117 - detalhe da pingadeira e da amarração dos tripés



Figura 118 - Modelo em estado de uso



Figura 119 - modelo em estado de uso



Figura 120 - Detalhes das amarrações

3.4.2. Domo de Yvy Porã

Em meados de 2008, Jorge Timmermann e Suzana Maringoni, da estação de permacultura de Yvy Porã, souberam um pouco sobre um dos trabalhos de pesquisa em andamento no LILD, os experimentos com bolhas de sabão (CAMPOS & MELO, 2010). Depois de verem algumas fotografias de bolhas de sabão e de látex infladas dentro de molduras quadradas, e de saberem da possibilidade de gerar geodésicas a partir desta forma, Timmermann e Maringoni propuseram ao LILD o projeto de um domo geodésico - deformado em um quadrado na sua base - para servir de cobertura para a oficina experimental que eles planejavam construir em Yvy Porã.

Através de modelos mecânicos experimentais em escala reduzida, o projeto da cobertura da oficina experimental foi ganhando forma, dimensões, adaptações técnicas, e gerou uma lista de materiais necessários à sua construção – com o auxílio da computação gráfica -, concretizada através de técnicas convivenciais (ILLICH, 1976) e tecnologias acessíveis, envolvendo membros do LILD, de Yvy Porã e voluntários.

Diferente do estudo explanado no item anterior desse trabalho – a cobertura do novo LILD – a aplicação da tecnologia computacional gráfica atuou nesta ação – Domo de Yvy Porã - após o desenvolvimento formal e geométrico da mesma. Dessa forma mostraremos a frente à colaboração da computação gráfica como ferramenta de parametrização, transporte dos dados entre o LILD e Yvy Porã, e explanação dos passos construtivos em campo (fato inédito nas pesquisas do laboratório ate o momento).

3.4.2.1. Reprodução da forma em ambiente eletrônico

Posteriormente ao início dos estudos envolvendo a computação gráfica e a obtenção da geometria da nova cobertura do laboratório, Campos, ciente desse trabalho, me convidou para participar dessa ação em Yvy Porã. No entanto, diferentemente do caso da cobertura do laboratório, a geometria básica do objeto em desenvolvimento já estava em fase final de obtenção. Desse modo, optamos por aplica-la, primeiramente, como exercício de reprodução dos objetos em desenvolvimento no laboratório.

Como um primeiro passo para gerar um domo geodésico pode-se escolher um poliedro regular de faces triangulares como o tetraedro, o octaedro ou o icosaedro. Estes poliedros estão inscritos numa esfera o que significa que cada um de seus vértices estejam localizados exatamente em algum ponto da superfície esférica. Como o objetivo deste projeto era deformar uma meia esfera, transformando sua base circular em um

quadrado, o octaedro foi escolhido como o poliedro gerador, pois sua metade apresenta uma base quadrada, pois a figura formada é uma pirâmide de base quadrada (figura 83).

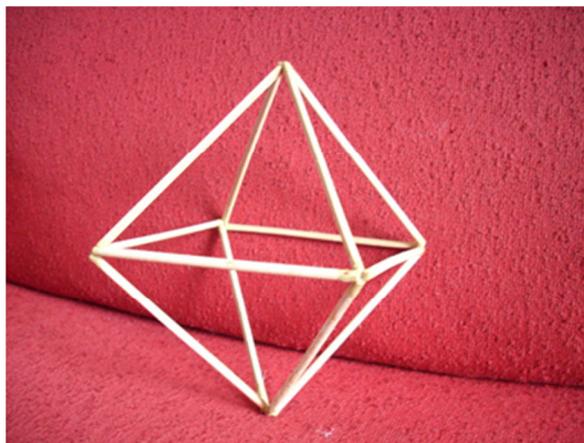


Figura 121 – Octaedro

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

Foram construídos modelos mecânicos em escala reduzida, 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 (octaedro 4v). Utilizando o modelo do octaedro 3v como suporte foi construído outro modelo sobre este, deformando sua base de um círculo para um quadrado (figura 89).



Figura 122 - Octaedro 2v, 3v e 4v

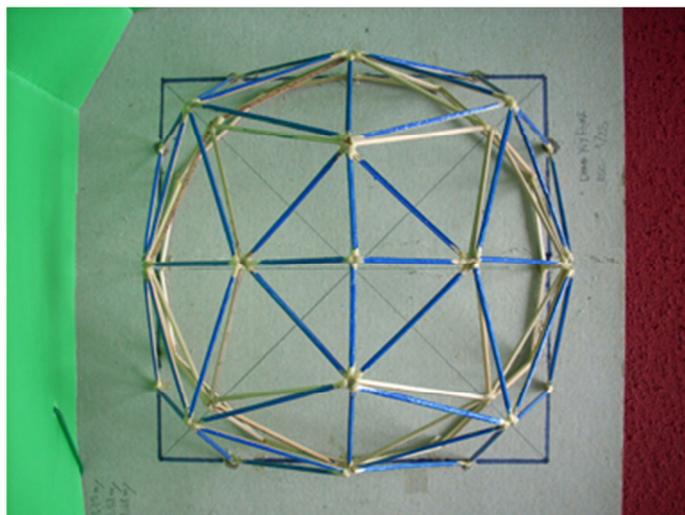


Figura 123 - Octaedro 3v deformado para uma base quadrada

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 (figura 90).

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 (figura 90), formato já utilizado pelo LILD em outra construção que utilizou uma geodésica como núcleo estrutural, a capela de Andrelândia. 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.

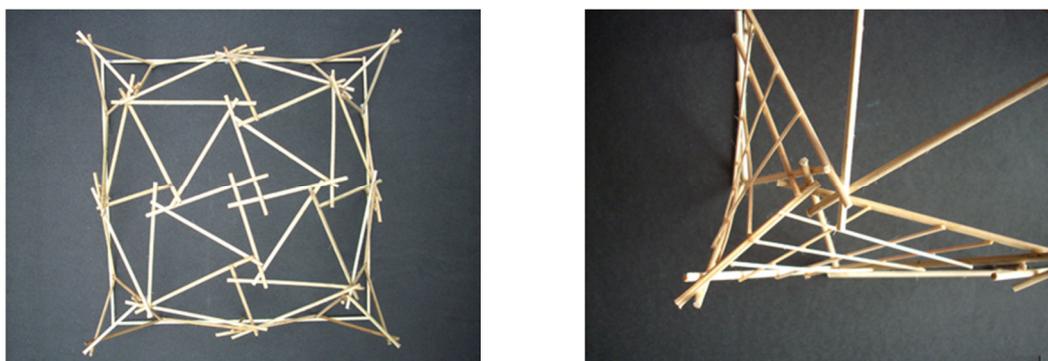


Figura 124 - Octaedro 3v deformado para uma base quadrada em giro, e detalhe do beiral



Figura 125 - Geometria básica finalizada

Desse modo, iniciei a modelagem eletrônica a partir do octaedro 3v. Como se trata de uma figura simétrica, sua reprodução em ambiente eletrônico foi mais fácil do que o da geodésica que mais comumente usamos o icosaedro 2v. Conhecendo o tamanho das peças e seu posicionamento – dados obtidos por meio do modelo em estado mecânico – foi uma montagem bastante simples. Vale lembrar que, assim como no caso da cobertura do LILD, optei por diferenciar os tamanhos das barras por cores diferentes, como forma de facilitar a visualização das diferentes barras e seu posicionamento.

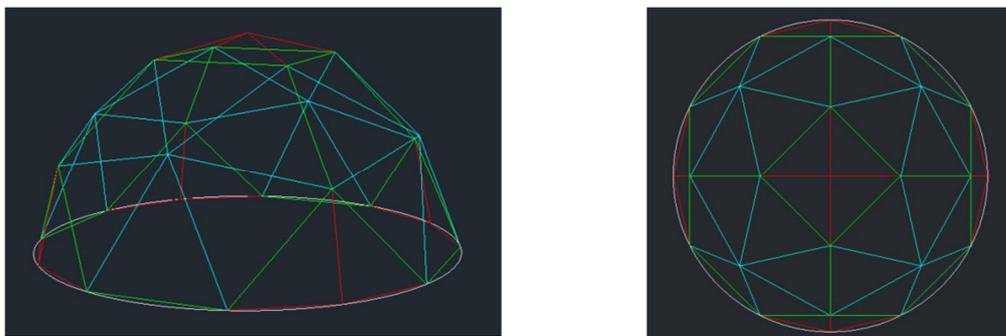


Figura 126 - Octaedro 3v em estado eletrônico

Após a obtenção do octaedro em frequência 3, iniciei o processo de deformação de sua base. De acordo com as medidas e posicionamentos vistos no modelo em estado mecânico, desenhei o quadrado de cinco por cinco metros que seria a base dessa geometria. Posteriormente marquei os pontos da cobertura que estariam sobre o quadrado. Mantendo o octaedro 3v como base, desenhei as barras com o novo tamanho, ligando as juntas da geometria básica, até os novos pontos na base quadrada.

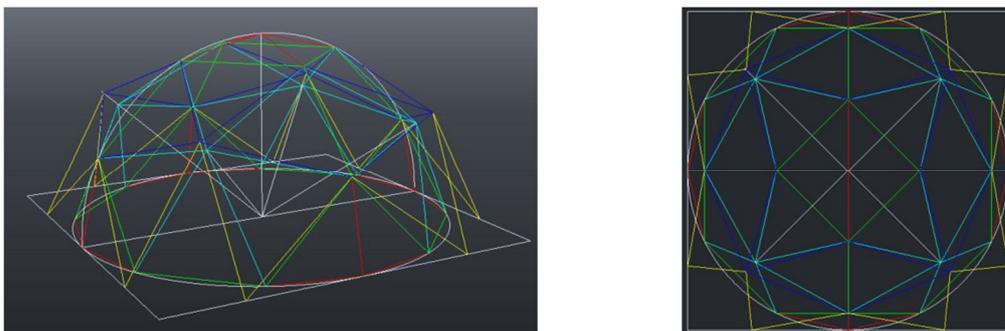


Figura 127 - Octaedro 3v servindo de base para o deformado em uma base quadrada

Obtida a geometria deformada, desenhei os beirais e, dessa forma, foi possível observar a forma básica, ainda com juntas pontuais, da cobertura a ser construída. O próximo passo foi a obtenção da junta em giro.

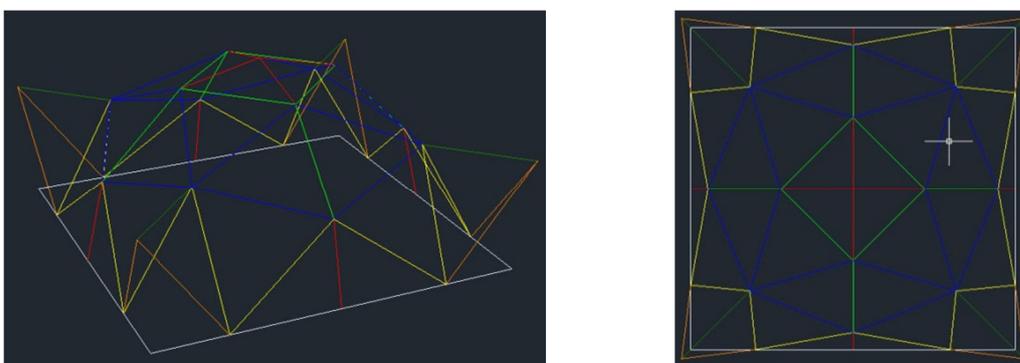


Figura 128 - Forma básica da cobertura em *wireframe*

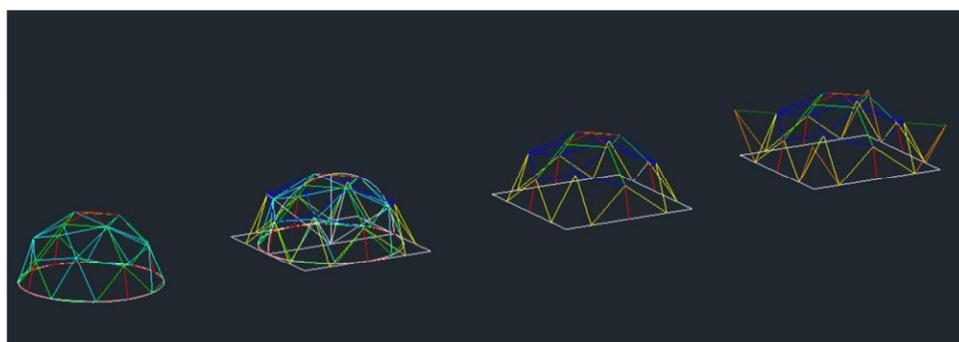


Figura 129 - Evolução para a base quadrada

Já ciente do giro geral que ocorre em toda a geometria quando aplicamos o giro às juntas, utilizei o mesmo processo de obtenção do giro utilizado na confecção do estado eletrônico da cobertura do novo espaço do laboratório. Dessa forma, modelei um quarto da geometria da cobertura de Yvy Porã, apliquei o giro nas barras, e posteriormente, por meio do comando “rotacionar”, obtive o giro geral no objeto.

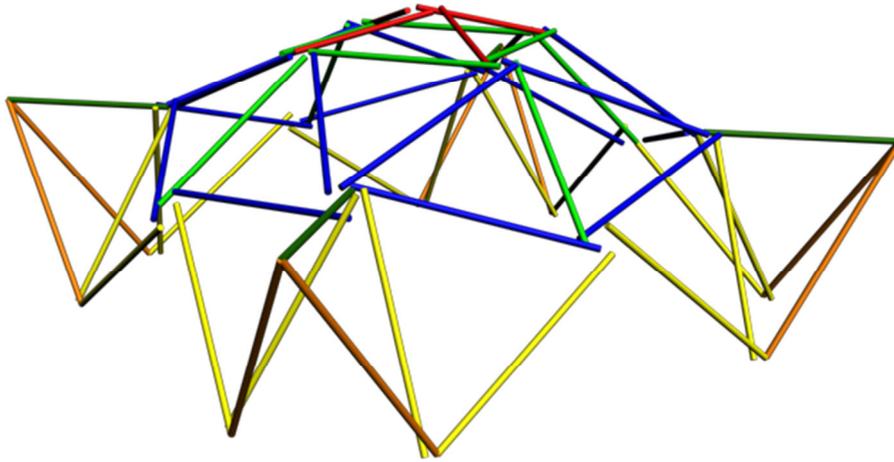


Figura 130 - Geometria em giro

Obtida a geometria geral em giro, separamos cada barra de tamanho diferente para que fosse possível gerar uma lista com a quantidade de cada uma, sua medida pontual e sua medida com o acréscimo necessário à montagem em giro. Desse modo, obtivemos a metragem linear de bambus necessária à construção do objeto, dado enviado aos responsáveis pela coleta da planta.

3.4.2.2. Transporte dos dados entre o LILD e Yvy Porã

Todo o desenvolvimento dessa cobertura ocorreu na cidade do Rio de Janeiro, onde fica o laboratório. No entanto, a montagem desse objeto ocorreria em São Pedro de Alcântara, Santa Catarina. Para exemplificarmos e explicarmos todos os passos da montagem, assim como determinar os tamanhos das barras e a quantidade referente a cada um, era fundamental que levássemos um modelo. A princípio levaríamos uma miniatura em escala 1:25, porém, ocorreu um contratempo, e essa maquete foi perdida. A outra miniatura que possuíamos era maior, estava em escala 1:10, e apresentava a dimensão de 50cm x 50cm x 35 cm, muito grande e frágil para ser levada de avião.

Optamos por levar apenas o modelo em estado eletrônico, visto que de qualquer forma levaríamos o mesmo em nosso *notebook*. Dessa forma, não foi necessário nenhum tipo de embalagem especial, e nem o desconforto de levar algo no colo dentro de um avião.

Outro fator que nos fez optar por levar apenas o estado eletrônico foi o fato de ele ser mais preciso que o mecânico, e, assim, seria possível que fizéssemos um teste didático em campo com esse estado eletrônico, ação que ainda não havíamos testado.

3.4.2.3. Computação gráfica em campo como ferramenta didática

Assim que chegamos a Santa Catarina, fomos recebidos por Jorge Timmermann, que em um primeiro momento, nos levou para sua casa em Florianópolis, de onde seguiríamos, no dia seguinte, para São Pedro de Alcântara. Já em casa ele nos questionou sobre a miniatura que havíamos mandado fotos. Informamos, então, que ela havia sido perdida e que levamos apenas o modelo em estado eletrônico. A princípio, Jorge se mostrou um pouco desconfiado, porém, ao pegar o computador e visualizar o estado eletrônico, tal sentimento se foi, e ele passou a operar esse estado bem próximo do que operaria o estado mecânico (figura 93). Por outro lado, vale lembrar que o computador que levamos era dotado de tela do tipo *touchscreen*, sensível ao toque, o que torna o manusear do estado eletrônico um pouco mais próximo ao do estado mecânico.



Figura 131 - Campos explicando o objeto, em estado eletrônico, para Jorge

O sucesso dessa primeira ação didática nos deixou bastante confiantes para a aplicação real em campo. Por outro lado, alguns fatos não ocorreriam da mesma forma. A grande diferença em relação a essa primeira ação é que, na próxima, estaríamos no local onde seria montado o domo, ou seja, ao ar livre, ambiente um tanto quanto hostil à utilização de equipamentos eletrônicos (figura 94). Além disso, a explanação seria feita para um grupo de cerca de onze pessoas, e por causa disso, nós operaríamos o computador, reduzindo a interação entre tal grupo e o modelo. Mesmo assim, levamos a frente o experimento.



Figura 132 - Tecnologia computacional gráfica em campo

O resultado se mostrou bastante satisfatório. Conseguimos explicar tanto o objeto, como o passo-a-passo de sua montagem, principalmente pela possibilidade de “ligarmos” e “desligarmos” os *layers*⁶, ou seja, de deixarmos visíveis ou invisíveis as variadas camadas do desenho. Apesar da surpresa geral, a aplicação da tecnologia computacional gráfica foi vista com bons olhos por todos. Vale lembrar que apesar obtermos sucesso nas explicações e visualizações, como o local não tinha energia elétrica próxima, tivemos que desenhar em um caderno o plano de montagem e as barras de tamanhos diferentes com suas quantidades, pois a bateria no computador durava apenas uma hora e meia.

⁶ Camadas



Figura 133 - Montagem do domo



Figura 134 - Domo barreado sem reboco



Figura 135 - Cobertura em estado de uso