



O DESIGN, OS MATERIAIS NATURAIS E AS BOLHAS: ALTERNATIVAS MAIS SUSTENTÁVEIS PARA A CONSTRUÇÃO

DESIGN, NATURAL MATERIALS AND BUBBLES: MORE SUSTAINABLE ALTERNATIVES FOR CONSTRUCTION

Lisiane Ilha Librelotto^{1*}
Chirle Ferreira¹
Fabio Bairros¹
Mara Regina Pagliuso¹
Paulo Cesar Ferrolí¹

* Autor para correspondência: lisiane.librelotto@gmail.com

Resumo: O bambu é um material natural tido como uma promessa para a construção mais sustentável. Este artigo apresenta as ações desenvolvidas em uma série de oficinas para o projeto e a construção de uma geodésica para a Sala Verde da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). As atividades desenvolvidas contemplaram o manejo de touceiras de bambu, identificação das varas mais antigas, corte, tratamento, cursos e oficinas para o projeto, preparação das peças de bambu e conexões, assim como a montagem final da estrutura. Como resultado obteve-se a disseminação do conhecimento do cultivo do bambu, seus usos, além da construção de um espaço em harmonia com o meio ambiente para a oferta de atividades de educação ambiental.

Palavras-chave: bambu; *design*; geodésica.

Abstract: Bamboo is a natural material considered as a promise for more sustainable construction. This article presents the actions developed in a series of workshops for the design and construction of a geodesic for the UFSC Green Room. The activities developed included the management of bamboo tufts, identification of the oldest bamboos, cutting, treatment, courses and workshops for the project, preparation of bamboo pieces and connections, as well as the final assembly of the structures. The result was the dissemination of knowledge of bamboo cultivation, its uses and the construction of a space in harmony with the environment to offer environmental education activities.

Keywords: bamboo; *design*; geodesic.

¹ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Florianópolis (SC), Brasil.

INTRODUÇÃO

A construção civil gera atualmente cerca de 40% da contaminação mundial por resíduos sólidos lançados no meio ambiente e responde por um percentual equivalente em termos de consumo de energia, mas infelizmente não se encontra sozinha nesse *ranking* (Hanna *et al.*, 2020). Somam-se a essa indústria os impactos gerados na produção de móveis, alimentos, utensílios domésticos, ferramentas, equipamentos, produção de energia, combustíveis e outras tantas atividades humanas.

A busca por alternativas de construção mais sustentáveis, além de colaborar na redução dos impactos ambientais, aponta para o bambu como uma planta de rápido crescimento e versatilidade de usos, contribuindo para a regeneração de paisagens, tratamento de águas e auxiliando desde a geração de energia por biomassa até a produção de alimentos pelo consumo de seus brotos.

O bambu pertence à família das gramíneas e é uma planta característica de regiões tropicais, porém é possível que algumas espécies de bambus possam se desenvolver em áreas de clima subtropical e temperado. Pelo mundo existem aproximadamente 1.300 espécies de bambu. Os três países que mais o cultivam são a China, o Brasil e depois a Índia, respectivamente (Librelotto *et al.*, 2019).

No Brasil, de acordo com algumas pesquisas, existem 258 espécies de bambus nativos brasileiros; os principais são os bambus dos gêneros *Guadua* e *Merostachys* (Librelotto *et al.*, 2019). Os bambus exóticos representam espécies de grande interesse comercial e, por essa razão, foram introduzidos no Brasil. Entre os bambus exóticos pode-se citar *Dendrocalamus asper* (de crescimento entouceirante). Representantes dessas duas espécies, *Guadua* e *Dendrocalamus*, foram selecionados para cultivo no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e constituem o material base da construção da geodésica, objeto deste artigo.

Em função das questões apontadas aqui, apostando no bambu como um material renovável e promissor, o Grupo de Pesquisa VirtuHab da UFSC, como forma de subsidiar suas pesquisas com o material e promover ações de incentivo e disseminação do bambu no Brasil, iniciou a CultivARQ, uma fazenda experimental de bambus, junto ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo, utilizando duas espécies principais, uma nativa (*Guadua chacoensis*), de formação alastrante, e outra exótica (*Dendrocalamus asper*).

Este artigo apresenta um conjunto de atividades constituídas por oficinas práticas e de projeto para a construção de uma geodésica para a Sala Verde da UFSC. A Sala Verde (SV) é um espaço interativo de educação socioambiental aberto a toda comunidade (externa e interna à UFSC).

DESENVOLVIMENTO

Métodos

Como procedimentos metodológicos explicitam-se as atividades de pesquisa, ensino e extensão constituídas pelas ações práticas que foram conduzidas, cujo objetivo final foi a construção de uma geodésica para a SV/UFSC.

Criada em 2004, a SV/UFSC é uma iniciativa multi-institucional da Coordenadoria de Gestão Ambiental (CGA) da UFSC, com a chancela do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Desde sua fundação, esteve comprometida com a educação socioambiental não formal. Numa conjuntura de troca de saberes e diálogos, principalmente por meio das interlocuções academia-sociedade, a construção da geodésica em bambu visa contribuir para que tais ações se fortaleçam. Para isso, a fabricação da geodésica pretendeu ressignificar o espaço verde interativo externo da SV mediante sua melhoria de forma sustentável.

O cronograma, exposto no quadro 1, apresenta os temas das atividades realizadas. Fizeram parte as turmas A e B da disciplina Tecnologia das Edificações I e as turmas A e B de Tecnologia das Edificações IV, assim como mais 20 participantes externos da comunidade via SV. Em média, cada turma da oficina contou com 30 participantes.

Quadro 1 – Cronograma

Data	Título da atividade	Local	Horários disciplinas arq.	Horários oficinas	Observação
21/3/23	Manejo do bambu: desbaste das touceiras e escolha dos colmos	ARQ	Turma A: 8h às 10h Turma B: 10h às 12h Turma C: 14h às 16h	8h às 12h	Turmas (A, B e C) ARQ e oficinas
28/3/23	Manejo de bambu: colheita e tratamento	ARQ	Turma A: 8h às 10h Turma B: 10h às 12h Turma C: 13h30 às 15h10	8h às 12h	Turmas (A, B e C) ARQ e oficinas
3/4/23	Possibilidades técnicas de uso do bambu	Sala Verde	Aberta à comunidade	8h às 10h	Só oficina Apresentação
4/4/23	Projetos para construção de geodésica e montagem de maquetes	ARQ	Turma A: 8h às 10h Turma B: 10h às 12h Turma C: 13h30 às 15h10	8h às 12h	Turmas (A, B e C) ARQ e oficinas
11/4/23	Seleção de projeto de geodésica	ARQ	Turma A: 8h às 10h Turma B: 10h às 12h	8h às 12h	Turmas (A e B) ARQ e oficinas
25/4/23	Cortes das peças de bambus conforme projeto	ARQ	Turma A: 8h às 10h Turma B: 10h às 12h Turma C: 13h30 às 15h10	8h às 12h	Turmas (A, B e C) ARQ e oficinas
25/5/23	Corte das peças de PVC para conexões	ARQ	8h às 12h	8h às 12h	SV e turmas de Tecnologia das Edificações (livre)
1.º/6/23	Encaixes das conexões	ARQ	8h às 12h	8h às 12h	Comunidade e SV
6/6/23	Mutirão de construção da geodésica para a Sala Verde	Sala Verde	9h às 12h	9h às 12h	Montagem durante o evento Ensus 2023

Fonte: elaborado pelos autores

As atividades das oficinas, de uma forma sintética, foram conduzidas na seguinte ordem: Oficina 1 – 21/3: Explanação inicial sobre o bambu. As espécies presentes no plantio. Possibilidades de uso. Construções com bambu. Cadeia produtiva. Desbastes e limpeza das touceiras. Identificação das varas conforme a idade. Identificação das varas que serão cortadas por cores. Preparação para o tratamento. Cuidados com a poda e o manejo. Observação: caso seja possível já efetuar algum corte de peça, esta já deve ser imersa nos tambores para tratamento, sendo necessária a furação.

Oficina 2 – 28/3: Atividades preparatórias: obtenção dos tambores para imersão. Remoção das tampas dos tambores e eliminação dos resíduos. Preparo da solução de tratamento. Furação das peças cortadas. Corte, limpeza das varas. Imersão para tratamento.

Oficina 3 – 3/4: Aula expositiva: tipo de geodésicas, possibilidades de fundação e tipos de ligações. Noções gerais sobre o bambu. A cadeia produtiva do bambu.

Oficina 4 – 4/4: Possibilidades de configurações de geodésicas. Produção de icosaedros em papel. Projetos de estruturas em bambu. Geodésicas. Aplicativos e *softwares* para cálculos de geodésicas.

Oficinas 5, 6, 7, 8 e 9: Prática em confecção de ligações e corte das peças. Embora o cronograma do quadro 1 apresente oito datas, para finalização das conexões da estrutura da geodésica foram necessários mais dois encontros, com a participação apenas dos organizadores, com a finalidade de produzir o total de peças e deixá-las prontas para a montagem.

Oficina 10 – 6/6: Montagem da estrutura da geodésica.

Histórico dos bambus – CultivARQ – fazenda experimental de bambus

Em 2016, iniciou-se no grupo de pesquisa VirtuHab a ideia de formação de uma rede de pesquisa em bambu, que culminou em um projeto enviado à Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) para disseminação do conhecimento associado à cadeia produtiva do bambu. Esse projeto conduziu a parcerias com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp) e Universidade de São Paulo (USP) para a reunião de um grupo de pesquisadores que pudesse estudar o tema, em suas diversas áreas. Nessa época iniciou-se a organização da publicação, realizada três anos depois, em 2019, *Bambu: caminhos para o desenvolvimento sustentável no Brasil* (Librelotto *et al.*, 2019).

Em 2018 existiam várias pesquisas em andamento no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFSC vinculadas ao PósARQ (Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo). As pesquisas sobre a durabilidade das edificações construídas em bambu (Jaramillo Benavides, 2018) e sobre a estanqueidade de estruturas em pau a pique (Lisbôa, 2019) e o trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil de Vitor (2018) para a construção de um protótipo habitacional em bambu revelaram a problemática da obtenção de bambu nas condições apropriadas para o uso em construções, ainda que experimentais.

A obtenção de bambu, de uma espécie com resistência conhecida, apropriada para uso na construção civil, com a idade determinada e com um tratamento que fosse eficiente contra os insetos que atacam o material, suscitou a introdução do cultivo junto ao Departamento de Arquitetura. A obtenção das mudas, por intermédio de Sumara Lisbôa, foi realizada paralelamente à negociação para o fornecimento de 50 mudas de bambu no evento Ensus 2019.

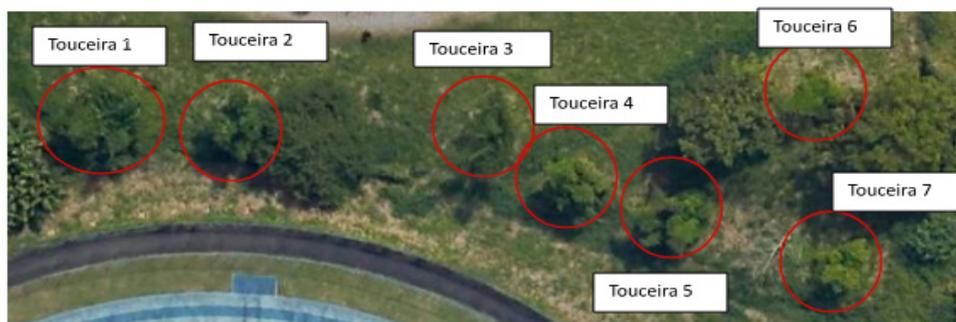
As mudas ficaram bastante tempo em adaptação sob os cuidados do técnico Saulo Pereira e do Grupo de Pesquisa VirtuHab; depois o plantio foi promovido em oficinas pelos alunos das disciplinas de Tecnologia das Edificações.

Na mesma época, em 2018, realizou-se o projeto de construção do Bicicletário da Botânica, promovido pelo grupo de pesquisa VirtuHab em parceria com o Departamento de Botânica, na figura do professor Raphael Trevisan, com participação de Lisbôa, Jaramillo, Librelotto e alunos da graduação e pós-graduação. Nessas oficinas fizeram-se o corte do bambu no Departamento de Botânica, o tratamento, oficinas de projeto (no Larestauro/MATEC) e a construção. Uma publicação explica todos os procedimentos do projeto (Jaramillo Benavides *et al.*, 2020).

Em princípio foram doadas para o início do plantio mudas das espécies *Dendrocalamus asper*, *Bambusa oldhamii* e *Guadua chacoensis*, mas somente duas se propagaram no cultivo experimental do ARQ (Projeto CultivARQ, 2023).

O mapa da figura 1 posiciona as touceiras de bambu existentes no Departamento de Arquitetura e Urbanismo, entre o prédio em forma de semicírculo e a pista de atletismo do Centro de Desportos, em um total de sete touceiras das espécies *D. asper* e *G. chacoensis*, demarcadas por um círculo vermelho na imagem.

Figura 1 – Localização das touceiras no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFSC

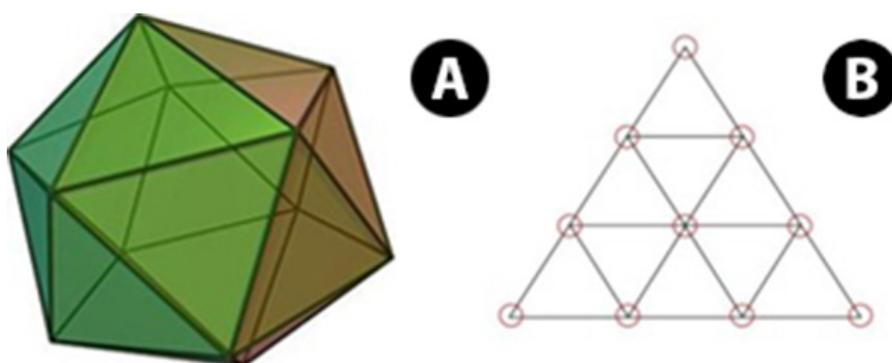


Fonte: adaptada de Google Maps

Sobre as geodésicas

Simplificadamente, as geodésicas são uma série de triângulos organizados de forma a compor uma superfície aproximadamente semiesférica. A base da geodésica são os icosaedros. Um icosaedro é um poliedro convexo de 20 faces (figura 2). Um icosaedro regular, constituído por 20 triângulos equiláteros, é conhecido como um dos sólidos platônicos. O filósofo Platão foi o primeiro a descrevê-lo em um tratado há mais de 2.600 anos.

Figura 2 – Icosaedro (A); triângulos equiláteros que formam a geodésica (B)



Fonte: Librelotto e Nascimento (2023)

Conforme Maron (2023), embora decorram de estruturas baseadas em triângulos equiláteros que constituem os sólidos platônicos, as geodésicas foram impulsionadas pelo trabalho de Robert Buckminster Fuller a partir de 1930. Bucky propôs uma série de experimentos em arquitetura e, em 1950, iniciou a divulgação das construções no formato de geodésicas por meio de uma série de publicações em torno da geometria do pensar, dos padrões energéticos e da natureza (1975, 1979, 2002). Nesse sentido, Bucky defendia “a concepção de planeta como um sistema regenerativo onde cada organismo ao ser guiado pelos seus instintos de sobrevivência também acaba desempenhando um papel secundário que ajuda a equilibrar o planeta como um todo” (Maron, 2023).

Inspiradas na observação de bolhas de sabão e principalmente do radiolário (um plâncton marinho microscópico), as geodésicas também podem ser encontradas na química, em moléculas de carbono denominadas fulerenos. As estruturas nesse formato de domos ou bolhas ganharam ênfase nos anos 1970 com os movimentos de contracultura *hippie*. Uma cidade bastante paradigmática conhecida como Drop City simboliza essa época.

Em termos de arquitetura, as geodésicas promovem uma série de benefícios ao ambiente, pois propiciam um grande vão livre, minimizam trocas térmicas e reduzem o consumo de material na envoltória. Associadas com bambu, trazem leveza e uma significativa redução do

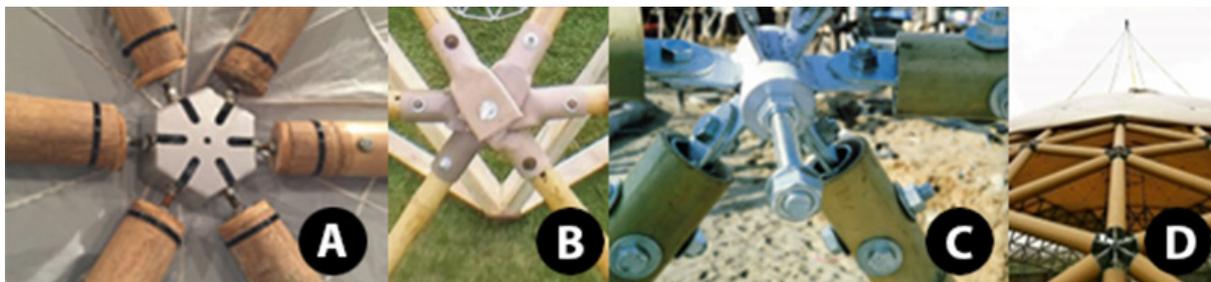
impacto ambiental. Todos os benefícios das geodésicas são explorados no trabalho de Da Silva e Farbiarz (2016) pela discussão do pensamento de Fuller.

Cabe destacar, como elemento norteador dos projetos que envolvem as geodésicas, a liberdade da construção das formas das estruturas. Malaguti Campos (2009), em sua dissertação de mestrado, promoveu uma série de experimentos baseando-se no que convencionou chamar de “arquitetura das bolhas”. Do uso de balões, gesso e palitinhos surge uma impressionante gama de formas e estruturas que inspiram e dão margem à descoberta de outras proposições arquitetônicas. Daí decorrem estruturas como *tensegrity*, domos, paradomos e *yurts*.

Sobre possibilidades de ligações

Uma infinidade de possibilidades de ligações pode ser pensada sob a ótica da construção com bambu. Larrinaga (2022) estuda as possibilidades de ligações, conexões e uniões em bambu e cria uma categorização que contempla os níveis *low tech*, *medium tech* e *high tech*. Algumas dessas possibilidades de ligações, que vão do uso de cordas e amarras até peças em aço inoxidável com desenho específico para a composição de estruturas geodésicas, podem ser visualizadas na figura 3.

Figura 3 – Possibilidades de ligações para estruturas geodésicas em bambu



Fontes: imagens A, C e D – Larrinaga (2022); imagem B – Geiss e Damo (2018)

RESULTADOS

Etapa 1 – Cultivo, manejo e identificação das varas nas touceiras

Os bambus se desenvolvem em regiões de clima subtropical e temperado, ou seja, eles se adaptam melhor onde há calor e umidade. No entanto algumas espécies conseguem se desenvolver em climas mais frios e secos, como é o caso dos bambus *Oldhamii*.

O melhor local para o cultivo de bambu, para a grande maioria das espécies, deve ser próximo de locais com cursos d’água e boa drenagem. Assim não há necessidade de muita preparação do solo; o seu plantio precisa ser realizado na estação das chuvas. Outro ponto importante a prestar atenção durante o plantio é a distância de uma muda para a outra, pois, dependendo da espécie, se exige um grande espaçamento entre as mudas, cerca de 3 a 5 metros entre as mudas e 5 a 10 metros entre as fileiras.

Acredita-se que, para a extração do bambu, de forma a minimizar o ataque por insetos, a melhor condição é o corte realizado durante a lua minguante, quando a umidade e os nutrientes do bambu estão baixos (maio, junho, julho e agosto, como no dito popular, meses que não possuem o R na escrita), no fim do outono e inverno. A extração durante esse período reduz a possibilidade de ataque de insetos e fungos, permitindo maior durabilidade do material.

Entretanto extrair bambu somente durante esse período é difícil quando se pretende uma regularidade de produção e adequação dos cronogramas, como foi o caso das oficinas de bambu para a montagem da geodésica da SV. Para compatibilização dos prazos com o semestre letivo e realização do evento Ensus, no qual deveria ser montada a geodésica, a colheita foi feita em março.

Etapa 2 – Manejo e identificação das varas nas touceiras

Nesta etapa foram realizadas atividades relativas ao desbaste de folhas, seleção e identificação de varas.

As seguintes ferramentas foram necessárias para manejo e desbaste: facão, serrote de poda, serra elétrica, alicates de poda pequenos e grandes, fitas e linhas para identificação das idades (três cores de linhas). Os brotos de bambu foram identificados com duas cores, rosa claro (brotação mais recente, de 12/2022 a 1/2023) e *pink* (brotação de 12/2021 a 1/2022). Os colmos mais antigos (com 5 anos) foram identificados com cordas de sisal para serem cortados; os demais, em idades intermediárias, foram deixados sem identificação (mudas plantadas no segundo semestre de 2018, portanto, sem produção de brotos na primeira temporada, brotações de 12/2019 a 1/2020, de 12/2020 a 1/2021). A figura 4 mostra as touceiras após a limpeza e com a identificação dos colmos mais jovens.

Figura 4 – Identificação dos colmos nas touceiras



Fonte: os autores

Os colmos para corte foram identificados com corda de sisal e fitas pretas, a partir das marcações dos anos feitas durante o acompanhamento das touceiras. Esse acompanhamento consistiu em identificar com esmalte as varas de 2018 – originais da muda – com um 8, de 2019 com um 9, e de 2020 com um zero, apenas nas touceiras de *D. asper*. Em algumas varas, não foi mais possível identificar as marcações com esmalte, e o reconhecimento foi efetuado pela ausência de bainhas presas no caule e ausência de pelos dourados, que vão reduzindo durante o desenvolvimento da planta (no que se refere à espécie *D. asper*).

Etapa 3 – Corte das peças e tratamento

O tratamento químico foi realizado utilizando bórax e ácido bórico em uma proporção de 1 kg de cada substância para cada 200 litros de água (1 kg de bórax + 1 kg de ácido bórico), o que resulta em uma diluição de 1% aplicado pelo método de imersão vertical. Para o preparo da mistura, os produtos foram pesados e uma pequena parte de água foi aquecida para diluição dos químicos. A mistura então foi adicionada nos tambores, obtendo-se os 200 litros finais. Logo depois do corte, os nós dos colmos foram perfurados internamente, deixando-se

apenas o nó do meio da vara sem a perfuração. A perfuração ocorreu com o auxílio de uma barra de aço $\frac{3}{8}$ e uma furadeira. Posteriormente, colocaram-se os bambus em posição vertical, com a base dentro de um tambor metálico de 200 litros preenchido com a solução química, e despejou-se a mesma solução no extremo superior dos colmos para que impregnasse por gravidade. Houve o cuidado em manter o interior do colmo cheio durante todo o tempo do tratamento.

A fachada do Labrestauro/Arq/UFSC serviu para fazer o enchimento dos colmos pela laje acima do laboratório, em um procedimento de *boucherie* modificado utilizando-se apenas a pressão hidrostática (figura 5).

Os colmos permaneceram no tratamento por uma semana, depois foram virados na posição vertical, por mais uma semana, repetindo-se o enchimento dos colmos pela parte superior. Em seguida foram retirados do tanque e apoiados verticalmente na parede para o processo de secagem até atingirem a umidade do ambiente (recomendam-se três meses). Se chover e criar mofo, os bambus devem ser limpos, com o próprio produto do tratamento.

Após duas semanas, em 12/4 ocorreram o término do tratamento, a retirada dos bambus e o armazenamento na posição vertical. Houve a seleção dos colmos quanto à linearidade para o corte posterior.

Nessa etapa utilizaram-se uma furadeira, uma barra de aço de 1,5 m de comprimento de $\frac{3}{4}$ com uma broca soldada na ponta para perfuração dos nós, tambores de aço para posicionar os bambus em imersão vertical, baldes, micro-ondas para aquecimento da água e ferramentas para mistura.

O corte das peças só foi feito após a definição do projeto da geodésica e de seu dimensionamento, para que fosse obtido o melhor aproveitamento dos colmos de bambu. A figura 5 ilustra o procedimento de furação e de tratamento dos colmos.

Figura 5 – Furação dos entrenós e tratamento dos bambus



Fonte: os autores

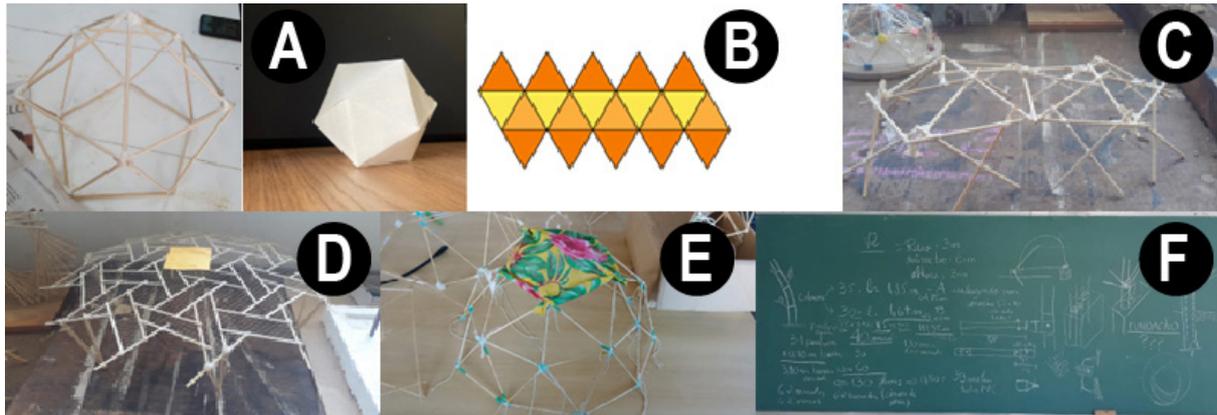
Etapa 4 – Oficina de projeto

Após uma explanação sobre as origens das geodésicas e as suas formas de representação, os participantes desenvolveram algumas atividades usando materiais trazidos para a oficina, como tesouras, réguas, papel, palitos de churrasco, palitos de dentes, cordas, cola PVA, cola quente, gominhas de açúcar, sisal, massinha de modelar, canudinhos e alfinetes.

Os oficinantes foram convidados a fazer, em um primeiro momento, um tetraedro, em papel ou com palitos (figura 6). Depois construíram com palitos estruturas baseadas no icosaedro, para só então desenvolverem suas propostas. Para tal trouxeram-se referências de geodésicas e outras estruturas baseadas nelas que pudessem amparar a construção. Conceitos básicos, como frequência de repetição de geometrias, equilíbrio de barras, transmissão estrutural de cargas, construção com bambu e seus cuidados, mostraram-se necessários.

Para os alunos das disciplinas de Tecnologia, solicitou-se a elaboração das propostas de acordo com o nível acadêmico, embora os resultados alcançados não necessariamente tenham atingido essa mesma correspondência. Aos estudantes do curso mais avançados solicitou-se descrição detalhada do funcionamento estrutural, tipo de ligação proposta, elementos de cobertura e fundação, elementos de proteção, piso e acabamentos da geodésica, informações elaboradas na forma de um memorial descritivo e de uma planilha de custos. A figura 6 ilustra alguns dos resultados obtidos na oficina de projeto.

Figura 6 – Icosaedro em palito e em papel (A); planificação icosaedro (B); estrutura icosadébrica com vigas recíprocas (C); geodésica com vigas recíprocas proposta por Oliveira, Giovanaz e Melo (2023) (D); geodésica frequência V2 (E); início do detalhamento do projeto (F)



Fontes: os autores

Analisadas todas as alternativas, decidiu-se pela estrutura mais simples com frequência V2 e conexões em PVC. Ainda que envolvessem maior custo (pelo uso de ligações em PVC e conectores de aço na forma de barras roscadas) e quantidade de trabalho, permitiriam uma fácil montagem e desmontagem, caso haja necessidade de substituição dos colmos em função da degradação ou mesmo movimentação da estrutura. Da mesma forma, os oficinasantes elaboraram um modelo em escala reduzida com a estrutura completa, de modo a simular as ligações com canudinho e alfinete, seguindo um procedimento de montagem e propondo uma cobertura em tecido (figura 6). O modelo, posteriormente, serviu de guia para o preparo das peças e ligações, assim como foi levado ao local de montagem, para referência de construção.

Após a produção das maquetes da geodésica e propostas de domos pelos participantes, ficou decidida a produção da geodésica de V2 (frequência 2) com diâmetro de 6 m e raio de 3 m. Essa frequência permite alcançar vãos com até 7 m de diâmetro, com um menor número de componentes. O vão escolhido para o projeto foi de 6 m. O tamanho das peças foi determinado por meio da calculadora disponível no *site* Desert Dome.

Etapa 5 – Produção das peças

Definido o modelo a ser construído e dimensionadas as peças, a estrutura foi quantificada e planejada nos aspectos relativos ao diâmetro das tubulações para as conexões, diâmetro das barras roscadas e moldes para a produção das ligações. A figura 7 demonstra a sequência de produção das peças; o quadro 2 traz o detalhamento do projeto, feito também com auxílio do Desert Dome, e os quantitativos de elementos necessários.

Figura 7 – Molde produzido em tubos de papelão (A); corte das peças com 23,5 cm (B); achatamento das pontas dos canos de PVC aquecidos e angulação de aproximadamente 16° (C); aquecimento do cano como soprador de calor para ajuste do PVC aos colmos do bambu (D); furações para conexões e introdução das barras roscadas (E); colocação da barra roscada, arruela de metal, anel de câmara de pneu reciclado e borboleta para aperto (F)



G

Dome Radius:

Don't include units here. For example, if you want to build a dome that's 10' 6" high, enter 10.5

Strut	Length	Dome Sphere	
A	1.854	35	60
B	1.639	30	60
4-way connectors		10	0
5-way connectors		6	12
6-way connectors		10	30

Fontes: A-F – os autores; G – os autores via Desert Dome

Quadro 2 – Quantitativos de peças e finalidades

Descrição	Quantidade	Finalidade
Peça de bambu A (1,65 m) / 1,85	35 un.	Peças na cor azul do plano de montagem 7 (g)
Peça de bambu B (1,45 m) / 1,65	30 un.	Peças na cor vermelho 7 (g). Medidas tomadas de eixo a eixo a partir do conector central da ligação
130 parafusos – bambus (1 cm maior que diâmetro do bambu), feitos com barra roscada de 0,5 cm	10 un.	Produzidos a partir do corte das barras roscadas. O corte das barras danifica a rosca, ao que foi necessária a solução de rosquear antes de cortar
Parafusos – nós (5cm), feitos com barras de 0,7 cm	26 un.	Os parafusos dos nós precisam ser mais reforçados e deve-se observar seu diâmetro em função das cargas
Borboletas de 0,5 cm de diâmetro	260 un.	Mais fácil de rosquear do que as porcas
Borboletas de 0,7 cm de diâmetro	52 un.	Além de borboletas, prever o uso de anéis de borracha para proteger o máximo de aperto sem danificar os bambus e o PVC
Arruelas de 0,5 cm	260 un.	Metálicas em diâmetros compatíveis com barra
Arruelas de 0,7 cm	52 un.	Observar a compatibilidade no passo entre barra e borboleta
Câmara de pneus	–	Para proteger bambus nos parafusos
Pneus	10	Para elementos de fundação
Tubos de PVC	–	Nos diâmetros possíveis para ajuste ao diâmetro externo dos colmos do bambu

Fonte: os autores

Etapa 6 – Montagem da geodésica

A montagem da estrutura foi relativamente fácil com auxílio de uma escada. Não houve a necessidade de andaime, pois a montagem foi iniciada pela estrela superior e se adicionaram peças na parte inferior da estrutura (montagem *top down*). Alguns ajustes nas angulações das conexões de PVC foram necessários em função das diferenças de diâmetros entre as peças. Para facilitar a adaptação das conexões entre si, visto serem de PVC rígido, nas ligações de 4, 5 e 6 pernas, o uso das câmaras de pneus entre as peças foi importante.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estrutura da geodésica foi montada em frente à SV, no prédio da Biblioteca Universitária da UFSC, sob a proteção das copas das árvores presentes no local.

Sem dúvida a parte mais demorada e complexa foi a produção das 65 peças necessárias para completar a montagem. Isso se deveu às características do bambu, por ser um material natural e apresentar variação de diâmetro e linearidade. Nesse sentido, por exemplo, os colmos de bambu colhidos e tratados foram mensurados em termos de diâmetro externo e buscou-se por tubulações de PVC com diâmetros compatíveis. Entretanto tais diâmetros são comerciais, e folgas entre tubo e colmo não podem ser admitidas.

Para resolver a questão das folgas, duas medidas foram tomadas: aquecimento do tubo com soprador de calor para ajuste ao colmo (mais fácil quando o tubo possui o mesmo diâmetro externo, ou ligeiramente inferior, que o colmo do bambu) e uso de câmara de pneus ao redor do colmo e interno ao PVC para preenchimento das folgas. A redução do diâmetro do PVC para ajuste a colmos menores não se mostrou eficaz.

Ainda quanto ao PVC, há diâmetros disponíveis para tubos de esgoto e de água fria. Os tubos de esgoto (brancos) possuem paredes mais finas, portanto, mais fáceis de deformar para os ajustes, todavia oferecem menor resistência para as ligações que os tubos de água fria (marrons, de paredes mais espessas). Deve-se considerar ainda que o aquecimento do tubo torna o PVC quebradiço, prejudicando a sua durabilidade ante as solicitações. Uma boa alternativa, no caso de disponibilidade de recursos, é a produção de conexões metálicas.

Para a angulação correta de aproximadamente 16°, usaram-se morsas para prensagem do tubo aquecido e formação do ângulo com um gabarito metálico. Mais para o final, descobriu-se que apenas a prensagem usando os pés, do tubo aquecido, já dava a inclinação necessária.

Precisam ser ressaltados dois últimos aspectos: os resíduos do tratamento dos colmos podem ser empregados para a rega das plantas e do próprio bambu remanescente, visto que não é tóxico e é composto por elementos necessários ao crescimento das plantas; e os aspectos relativos à durabilidade da construção, como prover cobertura, evitar contato com o solo do bambu, entre outros, devem ser sempre observados.

Por fim, destaca-se que a experiência foi maravilhosa em todos os sentidos, pelo clima de cooperação entre os participantes, pela satisfação na obtenção de um espaço harmonioso para educação ambiental e pelo aprendizado proporcionado, principalmente para a comunidade externa da UFSC.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Lucas Dias, Michele Fossati e Fabiano Ostapiv. A José Carlos Simonassi e Viviane Gonçalves Lapa Raulino da SV. À monitora das disciplinas de Tecnologia, Sabrina Nascimento, que colaborou na diagramação do manual de apoio e projeto das atividades. Aos demais integrantes da SV/UFSC o envolvimento e a organização das atividades. A todos os participantes das oficinas, que trabalharam arduamente, sem os quais não seria possível obtermos os resultados alcançados.

REFERÊNCIAS

DA SILVA, J. T.; FARBIARZ, J. L. O pensamento de Buckminster Fuller e o LILD, PUC-Rio. **Blucher Design Proceedings**, v. 2, n. 9, p. 1999-2010, 2016. Disponível em: <https://pdf.blucher.com.br/designproceedings/ped2016/0170.pdf>.

DESERT DOME. **Calculadora para domos geodésicos**. 2023. Disponível em: <http://www.desertdomes.com/domecalc.html>. Acesso em: ago. 2023.

GEISS, C. M.; DAMO, R. G. Análise de viabilidade econômica perante técnicas construtivas para uma estrutura geodésica de bambu. **Mix Sustentável**, v. 4, n. 1, p. 57-65, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2018.v4.n1.57-65>.

HANNA, E.; PATTYN, F.; NAVARRO, F.; FAVIER, V.; GOELZER, H.; VAN DEN BROEKE, M. R.; VIZCAINO, M.; WHITEHOUSE, P. L.; RITZ, C.; BULTHUIS, K.; SMITH, B. Mass balance of the ice sheets and glaciers – progress since AR5 and challenges. **Earth – Science Reviews**, v. 201, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102976>. Acesso em: ago. 2022.

JARAMILLO BENAVIDES, A. S. **Manifestações patológicas e decisões projetuais que incidem na durabilidade do bambu em edificações no Sul do Brasil**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/204499>.

JARAMILLO BENAVIDES, A. S.; LISBÔA, S.; GOULARTE, T. O.; LIBRELOTTO, L. Uso sostenible del bambú divulgado a través de actividades de extensión universitaria: proyecto y construcción de pérgola para cicletario. **Ciencia**, v. 22, n. 1, p. 91-102, 2020. Disponível em: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/ciencia/article/view/1271>.

LARRINAGA, R. A. **Uniones y elementos de conexión para estructuras con bambú: clasificación y desarrollo de un prototipo de conexión**. Tese (Doutorado) – Universitat Politècnica de Catalunya, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2117/380362>.

LIBRELOTTO; L. I.; NASCIMENTO, S. **Bambu: histórico do bambu do ARQ**. Grupo de Pesquisa VirtuHab. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/249258>.

LIBRELOTTO, L. I.; OSTAPIV, F.; VITOR, A. O.; JARAMILLO BENAVIDES, A.; FERROLI, P. C. M.; BERALDO, A. L.; SALAMON, C.; SANTOS, G. F. dos; SASAOKA, S.; LISBOA, S.; CARBONARI, G.; OSTAPIV, J. D'A. P. da S.; BARATA, T. Q. F.; PEREIRA, M. A. **Bambu: caminhos para o desenvolvimento sustentável no Brasil**. Grupo de Pesquisa VirtuHab/UFSC. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/197060>. Acesso em: ago. 2023.

LISBÔA, S. A. S. **Painel de pau a pique bambu e terra na Ilha de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/206484>.

MALAGUTI CAMPOS, D. **Design de estruturas reticuladas de bambu geradas a partir de superfícies mínimas**. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MARON, J. **Cúpulas geodésicas** – guia para iniciantes. Disponível em: https://amerindia.eco.br/assets/files/Geod%C3%A9sicas_%20guia%20para%20iniciantes.pdf. Acesso em: ago. 2023.

OLIVEIRA, A. B. de; GIOVANAZ, L.; MELO, G. **Trabalho disciplina Tecnologia das Edificações I**. Prof. Lisiane Ilha Librelotto e Michele Fossati. 2023.

Projeto CULTIVARQ. **Grupo de Pesquisa VirtuHab**. 2023. Disponível em: <https://cultivarq.paginas.ufsc.br/>.

VITOR, A. O. **Proposta de Habitação de Interesse Social (HIS) em estrutura de bambu**: projeto e construção de um protótipo experimental. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/192366>. Acesso em: ago. 2023.