



CONSTRUÇÃO DE UMA CÚPULA GEODÉSICA COM TUBOS DE PAPELÃO: UMA EXPERIÊNCIA NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UFU/MG

Albenise Laverde – albenise_laverde@yahoo.com.br

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Arquitetura Urbanismo e Design - FAUeD
Av. João Naves d'Ávila, 2121 – Campus Santa Mônica – Bloco I
CEP 38400-902 – Uberlândia – Minas Gerais

Gerusa de Cássia Salado – gesalado@sc.usp.br

Universidade de São Paulo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo
Av. Trabalhador São-carlense, 400 – Centro
CEP 13566-590 – São Carlos - SP

Resumo: *Este trabalho apresenta o processo de uma oficina realizada no Laboratório de Tecnologia do Ambiente Construído, na Universidade Federal de Uberlândia (MG), com os alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo, em que foi construída uma cúpula geodésica com tubos de papelão. A experiência teve como objetivo analisar, simultaneamente, uma tipologia estrutural de complexidade mediana composta por barras e um material construtivo não convencional e de baixo impacto ambiental, reforçando a importância entre a interface teórica e prática como metodologia de ensino. Os alunos tiveram participação em todas as etapas do processo de construção, desde o beneficiamento das peças até a montagem final do protótipo, refletindo ao longo do processo sobre os limites e potencialidades do material adotado e correlacionando a teoria estudada com a prática construtiva. Esta experiência pode ser considerada inédita no cenário acadêmico brasileiro não pela construção da tipologia estrutural, mas sim, pela possibilidade de manipulação de um material não convencional com aplicações ainda incipientes, como o caso dos tubos de papelão. De modo geral, este trabalho serve de exemplo para outras instituições de ensino, sendo possível por meio da explanação do processo, sua reaplicabilidade de acordo com cada contexto, como forma de abordar o estudo de tipologias estruturais, técnicas construtivas e materiais de construção de baixo impacto ambiental.*

Palavras-chave: *Cúpula geodésica, Tubos de papelão, Sistemas estruturais.*

1. INTRODUÇÃO

O curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) passou por uma reformulação em seu Projeto Pedagógico entre os anos de 2009 e 2010, com a reavaliação das disciplinas de cunho tecnológico, a fim de melhor distribuí-las ao longo do curso e promover a atualização dos conteúdos ministrados. Nesta reavaliação, uma das

Realização:



Organização:





principais questões levantadas foi a dificuldade de transferência dos conhecimentos adquiridos na área tecnológica para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos em Atelier, independente da complexidade dos trabalhos, ficando nítido o distanciamento entre a atividade projetual e a prática construtiva.

Em relação a este aspecto, é preciso estimular a aproximação entre a teoria e as atividades práticas no ensino de arquitetura e urbanismo, pois nas últimas décadas este vem se distanciando do processo de aprendizagem que tem como apoio didático-pedagógico a vivência em canteiros de obras. Atualmente, têm predominado escolas que privilegiam a reflexão teórica em detrimento do convívio com a prática construtiva, culminando na formação de um profissional que pensa arquitetura, mas que perde progressivamente, a chance de materializar seu pensamento. Dessa forma, as atividades realizadas no canteiro, além de envolverem o aluno nos processos construtivos, possibilitam a busca do conhecimento em sua fonte, com verificações laboratoriais, pesquisas bibliográficas, iconográficas e de campo (RONCONI, 2002).

De maneira análoga, discute-se a dualidade que a arquitetura carrega: de um lado a teoria ‘pensa’; de outro a experiência ‘verifica’. Esta dicotomia isomórfica, à que separa projeto e execução, por si só leva ao desconhecimento da arquitetura: arquitetura é *práxis*, entre teoria e prática (FERRO, 2008).

Nesta conjuntura, a reformulação do novo Projeto Pedagógico do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFU apontou a necessidade da criação de uma disciplina chamada ‘Introdução à Tecnologia da Construção’, a qual propõe a introdução ao conhecimento tecnológico desde o início da formação do aluno, com atividades práticas de canteiro de obras e a realização de oficinas, e vem sendo oferecida aos alunos do 2º período do curso.

A nova disciplina do curso abrange conteúdos a respeito dos esforços básicos das estruturas e incentiva a exploração de materiais construtivos não convencionais e/ou reciclados, como a terra crua, o bambu e os tubos de papelão, entre outros; juntamente com as técnicas de processamento e a verificação em campo dos limites e potencialidades dos materiais manipulados.

A escolha destes assuntos ocorreu devido ao fato de os materiais convencionais, como o aço e o concreto, serem abordados com grande propriedade em outros períodos. Além disso, os alunos seriam estimulados desde o início do curso a não criarem determinados preconceitos para com os materiais reciclados e alternativos, algo necessário nos dias atuais devido à preocupação com a sustentabilidade ambiental, com a reciclagem e com o desenvolvimento de novos materiais que utilizam resíduos em sua composição, e adquirindo uma postura mais flexível e um repertório mais amplo para utilizarem nas disciplinas de projeto.

Dentro da programação da disciplina, surgiu uma oportunidade de realizar com os alunos uma oficina com tubos de papelão. Assim, pensou-se na construção de uma estrutura cuja tipologia fosse simples, mas ao mesmo tempo possuísse um grau de complexidade instigante à investigação por parte dos alunos, como uma geodésica.

Esta oficina gerou resultados muito positivos de aprendizagem, pois além da possibilidade de manipularem um material ainda incipiente na construção civil no Brasil, os alunos tiveram a oportunidade de executar um protótipo em escala real com o mesmo, tornando-se uma experiência inovadora na área acadêmica neste país. Houve, também, uma disseminação dos conhecimentos a respeito desta tecnologia e o incentivo ao uso de tubos de papelão na arquitetura e construção civil no Brasil.



Este trabalho objetiva expor a experiência realizada na UFU e discutir os seus resultados com relação aos objetivos da disciplina do curso, evidenciando as melhorias implementadas no curso de Arquitetura e Urbanismo da UFU através desta disciplina.

A seguir serão expostas as etapas da realização desta experiência, contemplando todo o processo construtivo da cúpula geodésica, do beneficiamento das peças até a montagem do protótipo, comentando-se cada etapa. Ao final deste trabalho, conclusões serão tecidas a respeito da realização desta atividade.

2. A OFICINA COM TUBOS DE PAPELÃO

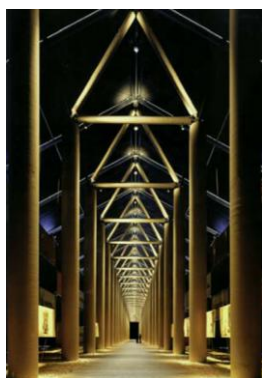
A oficina foi previamente preparada com uma palestra ministrada pela pesquisadora do IAU-USP, Dra. Gerusa de Cássia Salado, que desenvolve pesquisas a respeito da tecnologia que utiliza tubos de papelão na construção civil e arquitetura há cerca de dez anos no Brasil.

O assunto sobre o material construtivo foi inicialmente abordado perpassando tanto questões relativas à caracterização física e mecânica dos tubos de papelão, como exemplificando o seu potencial na construção civil por meio do estudo das obras do arquiteto japonês Shigeru Ban, que emprega este material como elementos de vedação e estrutura em suas construções há quase três décadas.

O atrativo por utilizar tubos de papelão na construção civil se deve ao fato de estes serem baratos com relação a outros materiais, de baixa tecnologia, e não gerarem desperdício, além de poderem ser reciclados ou reutilizados se estiverem em perfeitas condições de uso (McQUAID, 2003).

Os tubos de papelão permitem a fabricação de peças simples que podem ser dispostas de diversas maneiras, resultando em construções de pequeno, médio e grande portes, em sistemas construtivos variados (SALADO, 2006) – figuras 1 e 2.

Figuras 1 e 2: Museu Nômade (EUA) e Pavilhão de Odawara (Japão).
Fontes: Miyake, 2009, p. 193 e The Japan Architect, summer 1998, p. 104.



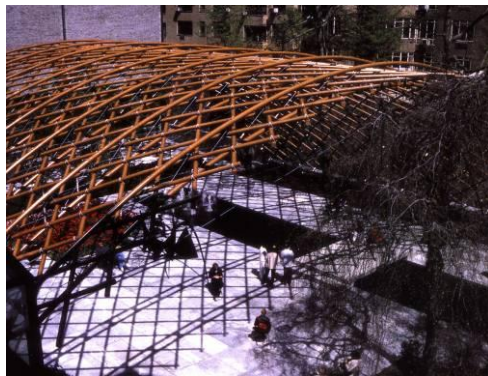
Entre os diversos sistemas construtivos explorados e desenvolvidos por Shigeru Ban com tubos de papelão encontram-se os arcos e as geodésicas, que são estruturas espaciais capazes de vencer grandes vãos. O arquiteto executou algumas obras desse tipo em vários países, como Japão, EUA, França, Alemanha e Holanda – figuras 3 a 6.



Figuras 3 e 4: Domus de Papel (Japão) e Pavilhão Japonês (Alemanha).
Fontes: The Japan Architect, summer 1998, p. 82 e McQuaid, 2003, p. 67.



Figuras 5 e 6: Arco no MoMA (EUA) e Geodésica de Papel (Holanda).
Fontes: McQuaid, 2003, p. 69 e Miyake, 2009, p. 90.

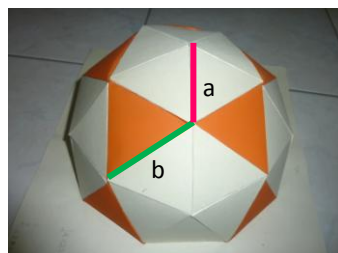


Dessa forma, as ideias e referências expostas acima nortearam o desenvolvimento da oficina com tubos de papelão na UFU e a construção do protótipo da cúpula geodésica com os alunos.

2.1. O processo de construção do protótipo

A geodésica construída foi a de menor complexidade, frequência baixa ($f = 2v$), estipulando-se o diâmetro de 2,5m. Uma maquete de papel cartão foi preliminarmente elaborada e apresentada aos alunos para possibilitar a compreensão da atividade por todos – figura 7.

Figura 7 – Maquete da cúpula geodésica a ser construída.





Os tubos de papelão utilizados para a construção do protótipo foram advindos de material de rejeito, como bobinas de papel para plotagem e bobinas de tecidos em geral, com diâmetros de 5,0 e 8,0cm e comprimento de 90cm.

A frequência adotada para a geodésica ($f = 2v$), aliada à necessidade de se aproveitarem os tubos de papelão obtidos, determinou os comprimentos das barras utilizadas em 68,27cm e 77,26cm (respectivamente a e b na figura 7), sendo as sobras cortadas com o auxílio de uma serra de bancada.

Assim, o processo de construção do protótipo teve início com o beneficiamento das peças. Para a confecção das barras, foi adotado o processo de amassamento dos topos, colagem e fixação das paredes dos tubos com parafusos, porcas e arruelas.

O quadro a seguir detalha a etapa de beneficiamento das peças e confecção das barras.

Quadro 1 – Beneficiamento das peças e confecção das barras.

Etapas	Desenvolvimento
<p>Destopo – retirada do excedente das peças para adequação às medidas das barras para a geodésica. Recomenda-se utilizar uma serra convenientemente afiada para não comprometer o acabamento dos topos das barras.</p> <p>Equipamentos: Serra circular.</p>	
<p>Lixamento – retirada das rebarbas dos topos dos tubos ocasionadas pelo processo de destopo.</p> <p>Equipamentos/materiais: Folha de lixa.</p>	
<p>Pincelamento com cola – aplicada na face interna do tubo, em uma faixa de ~ 10cm. Foram realizadas duas experiências: uma adotando cola branca e outra com cola de contato. Na primeira, foi observada a necessidade de ser acrescentada uma nova etapa: a estabilização dos topos por meio de grampos até a secagem da cola, levando de 2 a 3 horas para a secagem total. Na segunda experiência, houve uma otimização do processo, pois além de promover uma secagem rápida houve também a subtração da etapa de estabilização dos topos.</p> <p>Equipamentos/materiais: Cola branca ou de contato, pincéis e máscara protetora.</p>	



Prensagem – Os topos com a face interna revestida com cola foram amassados por meio de prensas manuais. Foram usadas duas placas de compensado no tamanho da aba amassada a fim de se promover um melhor acabamento. Esta etapa, assim como a próxima, tornaram-se os grandes “gargalos” do processo, devido ao tempo e esforço demandados. Nesta experiência foram utilizadas três prensas simultaneamente.

Equipamentos: Prensas manuais.



Estabilização dos topos – Esta etapa foi necessária apenas quando se utilizou cola branca. Foram testados inicialmente prendedores de roupa, mas devido à pressão exercida pelos tubos foi necessária a utilização de grampos, prensando sobre os topos dos tubos entre duas placas de madeira, até a secagem total da cola.

Equipamentos/materiais: Grampos e placas de compensado nas dimensões da aba.



Pintura – Os tubos foram selados com resina a base de água na intenção de promover uma maior durabilidade do protótipo. Com o uso de pincéis, o produto foi aplicado em apenas uma demão. O ideal seria aplicar duas demãos, mas devido ao tempo de secagem que se prolongou pela alta umidade do ar no dia da realização da experiência, isso não foi possível.

Equipamentos/materiais: Resina à base de água e pincéis.



Furação: Após uma marcação da localização correta do furo para a fixação dos parafusos, foi realizada a perfuração com uma furadeira nas extremidades amassadas. Para manter a estabilidade da barra no momento da perfuração, foram utilizados grampos e uma placa de madeira quando a ação foi realizada no chão. Quando a ação foi realizada sobre uma bancada, foram adotados alicates para manter a aba imóvel durante a perfuração.

Equipamentos/materiais: Furadeira manual, grampos e alicates.



A partir das barras confeccionadas iniciou-se a montagem do protótipo. A cúpula geodésica foi composta por triângulos equiláteros e isósceles, formando pentágonos e hexágonos, devido à frequência baixa adotada e as barras possuírem dois comprimentos diferentes. O quadro 2 detalha as etapas de construção do protótipo.



Quadro 2 – Construção do protótipo.

Etapas	Desenvolvimento
<p>Montagem dos pentágonos – para a construção da cúpula geodésica, foram inicialmente confeccionados seis pentágonos formados cada um por cinco triângulos isósceles. Os pentágonos foram montados dispendo-se as barras de tubos de papelão no chão, e sobrepondo-se os furos feitos em suas extremidades amassadas. Através destes, e com o auxílio de chaves de rosca e de chaves de fenda, foram fixados parafusos com porcas e arruelas para formar os nós da estrutura.</p> <p>Equipamentos: Chaves de fenda e chaves de rosca.</p>	
<p>União dos pentágonos – a cúpula geodésica de tubos de papelão foi tomando forma a partir do momento que os seis pentágonos foram sendo unidos uns aos outros, através da junção de um dos seus nós, e que mais algumas barras foram sendo fixadas entre os pentágonos para fechar o sistema por completo, formando os triângulos equiláteros. Após utilizarem-se todas as barras e pentágonos confeccionados, o protótipo estava construído.</p> <p>Equipamentos: Chaves de fenda e chaves de rosca.</p>	



3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho houve a tentativa de aliar o conhecimento teórico com a experiência prática, dando a oportunidade ao aluno de refletir sobre suas decisões de projeto quando construídas, como forma de aproximar o pensar do fazer. Embora tenha sido montada uma tipologia estrutural convencional, a mesma apresenta certo grau de complexidade apresentando-se a maquete física como uma ferramenta investigativa imprescindível para a compreensão do processo de montagem em escala real. Neste caso, a maquete física supera a maquete virtual no que diz respeito à facilidade de entendimento, demonstrando que quanto maior a profundidade de análise, melhores podem ser os resultados, o que deve ser transferido para todo e qualquer campo de projeto, e não somente para o caso de estruturas complexas.

A experiência pode ser considerada inédita no cenário acadêmico nacional, não pela construção da tipologia estrutural, mas sim, pela possibilidade de manipulação de um material não convencional e com aplicações de grande potencial embora ainda incipientes, como o caso dos tubos de papelão.

Ao participarem do processo de execução do protótipo, incluindo o beneficiamento das peças e a sua montagem, os alunos tiveram a possibilidade de investigar técnicas de manipulação do material, quando o mesmo possui suas próprias respostas para determinadas situações e novas possibilidades construtivas podem surgir, sem deixar de encarar o erro como uma forma de aprendizagem. Complementando este pensamento, submeter o protótipo aos fenômenos do meio físico, oferece a possibilidade dos alunos darem continuidade ao processo investigativo ao longo dos anos, com a análise das patologias surgidas, detectando suas origens e causas.

O protótipo mostrou ser passível de montagem em locais com infra-estrutura mínima, não exigindo máquinas ou equipamentos especiais ou diferentes daqueles comumente presentes em marcenarias acadêmicas, mas deve-se atentar como uma limitação o condicionamento do tamanho do protótipo ao tamanho da matéria-prima empregada, como já descrito no item 2.1.

De modo geral, esta experiência serve de exemplo para outras instituições de ensino, contribuindo para profissionais e alunos que tenham interesse no assunto, sendo possível por meio da explanação do processo a sua reprodutibilidade de acordo com cada contexto, como forma de abordar o estudo de tipologias estruturais, técnicas construtivas e materiais de baixo impacto ambiental.



4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FERRO, Sérgio. Experimentação em arquitetura: práxis crítica e reação conservadora. 008. In: RONCONI, R. L. N. et al. (Orgs). Canteiro experimental: 10 anos na FAUUSP. São Paulo: FAUUSP, 2008. p.19-23.

McQUAID, Matilda. Shigeru Ban. ed. Nova York: Phaidon Press, 2003. 240 p, il.

MIYAKE, Riichi. Shigeru Ban: Paper in Architecture. ed. Nova York: Rizzoli International Publications, 2009. 232 p, il.

RONCONI, Reginaldo. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Inserção do Canteiro Experimental nas faculdades de Arquitetura e Urbanismo, 2002. Tese (Doutorado).

SALADO, Gerusa de Cássia; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Construindo com tubos de papelão: um estudo da tecnologia desenvolvida por Shigeru Ban, 2006. 184 p, il. Dissertação (Mestrado).

THE JAPAN ARCHITECT. Shigeru Ban. Edição especial nº30. Tóquio: A+U Publishing CO, summer 1998.



CONSTRUCTION OF A PAPER TUBE DOME: AN EXPERIENCE AT THE FEDERAL UNIVERSITY OF UBERLÂNDIA – UFU/MG

Abstract: *This study addresses the process done at a workshop in the Built Environment Laboratory of Technology, at the Federal University of Uberlândia (MG), with Architecture and Urbanism students, in which a paper tube dome was built. The objective of this experience is to analyze simultaneously the structural typology of medium complexity made up of bars and a non-conventional construction material of low environmental impact, reinforcing the importance between theory and practice as teaching methodology. The students participated in all construction process stages, since the pieces manufacturing until the final prototype assembly, while reflecting over the limits and material potentialities adopted and relating the studied theory with the construction practice. This experience can be considered unprecedented in the Brazilian academic scene in regards to the possibility of manipulating a non-conventional material with incipient applications, as is the case of the paper tubes. In general, this study is an example to other teaching institutes, being possible through the explanation process, for it to be re-applied according to its context as a way to deal with structural typology study, construction technique and with construction materials of low environment impact.*

Key-words: *Dome, Paper tubes, Structural systems.*