

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Engenharia**  
**Curso de Especialização: Produção e Gestão do**  
**Ambiente Construído**

**Juliana da Silva Bortolussi**

**DIRETRIZES PARA O EMPREGO DE ELEMENTOS**  
**ESTRUTURAIS EM BAMBU NA CONSTRUÇÃO**  
**CIVIL**

**Belo Horizonte**

**2019**

**JULIANA DA SILVA BORTOLUSSI**

**DIRETRIZES PARA O EMPREGO DE ELEMENTOS  
ESTRUTURAIS EM BAMBU NA CONSTRUÇÃO  
CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

**Orientador: Prof. Dr. Silvio Romero  
Fonseca Motta**

**Belo Horizonte**

**2019**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus familiares, pelo apoio incondicional todo o tempo.

A meu noivo Cleiton, por entender minhas ausências e pelo companheirismo.

Ao meu orientador, Professor Dr. Silvio Romero Fonseca Mota, pela confiança depositada e por não medir esforços para a execução desse trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais.

Aos companheiros de turma, por terem ajudado a deixar todo o percurso acadêmico mais alegre.

## RESUMO

O bambu atualmente tem atraído a atenção de pesquisadores da construção civil como um material inovador, de fácil plantio, de rápido crescimento e de características únicas. O bambu é utilizado no mundo há muito tempo como estrutura; no entanto, no Brasil, e em alguns outros países, a indústria do concreto armado tem tido maior notoriedade e expansão ao longo do último século, frente a outros materiais de construção. Deste modo, este trabalho teve como escopo detalhar as técnicas de construção de estruturas de bambu e compreender como as construções são feitas. Realizou-se uma revisão bibliográfica do tema, onde foram verificados ensaios, bem como as formas de emprego do bambu na forma roliça e na forma laminada colada. Posteriormente, foi verificado seu emprego em obras pelo mundo e as soluções construtivas realizadas pelas equipes de projeto e execução. Por fim, como base nas informações obtidas, foram realizados análises e detalhamentos do bambu empregado como estrutura.

Palavras-chave: Bambu. Estrutura. Construção Civil.

## **ABSTRACT**

Actually, bamboo has attracted the attention of construction researchers as an innovative material, easy-to-grow material, fast growth and unique features. Bamboo is used in the world a long time as a structure; however, in Brazil and some countries, reinforced concrete industry and other materials has greater notoriety and expansion over the last century, compared with other materials. Thus, this research aimed to detail bamboo construction techniques and understand how bamboo constructions are made. A large bibliography review was proceeded, where was verify tests and the use of bamboo in the roll form and laminated form. Posteriorly, it was verifying constructions in the world and constructive solutions made by project and execution teams. Finally, based at the obtained information, were made analyzes and details of bamboo used as structure.

Keywords: Bamboo. Structure. Construction.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> – Detalhes de fundação de uma estrutura de bambu roliço .....     | 17 |
| <b>Figura 2</b> – Andaimos de bambu.....  | 18 |
| <b>Figura 3</b> – Encaixe e conexões de varas de bambu .....                      | 19 |
| <b>Figura 4</b> – Transpasse entre duas varas .....                               | 20 |
| <b>Figura 5</b> – Conexão com emprego de três barras.....                         | 21 |
| <b>Figura 6</b> – Casa de Chá Pátio de Bambu .....                                | 27 |
| <b>Figura 7</b> – Solidarização de diferentes materiais associados ao bambu ..... | 28 |
| <b>Figura 8</b> – Vista de toda construção .....                                  | 28 |
| <b>Figura 9</b> – Fundação de concreto para encaixe dos bambus roliços .....      | 30 |
| <b>Figura 10</b> – Estrutura e conexões.....                                      | 30 |
| <b>Figura 11</b> – Encaixe formato boca de peixe.....                             | 31 |
| <b>Figura 12</b> – Detalhe da conexão das varas de bambu.....                     | 32 |
| <b>Figura 13</b> – Estrutura de bambu do Restaurante Roc Von.....                 | 33 |
| <b>Figura 14</b> – Imagem 3D do projeto da estrutura .....                        | 34 |
| <b>Figura 15</b> – Estrutura pronta de MLC.....                                   | 35 |
| <b>Figura 16</b> – Planta de Cobertura.....                                       | 37 |
| <b>Figura 17</b> – Vista externa noturna.....                                     | 37 |
| <b>Figura 18</b> – Detalhe da construção da estrutura de sustentação .....        | 38 |
| <b>Figura 19</b> – Sistema versátil de escoramento da cobertura .....             | 38 |
| <b>Figura 20</b> – Vista interna da estrutura.....                                | 40 |
| <b>Figura 21</b> – Vista externa da estrutura.....                                | 40 |
| <b>Figura 22</b> – Vista da cobertura.....  | 41 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| <b>Quadro 1</b> – Resumo das diretrizes estruturais para emprego do bambu ..... | 43 |
|---|----|

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1</b> – Energia necessária na produção dos materiais .....           | 15 |
| <b>Tabela 2</b> – Valores de resistência a esforços solicitantes do bambu..... | 19 |
| <b>Tabela 3</b> – Quadro comparativo de esforços solicitantes .....            | 26 |



## LISTA DE NOTAÇÕES E ABREVIATURAS

|                 |   |
|-----------------|---|
| ABNT            | Associação Brasileira de Normas Técnicas    |
| BLC             | Bambu Laminado Colado                       |
| CNC             | Controle Numérico Computadorizado           |
| CO <sub>2</sub> | Gás Carbônico                               |
| INBAR           | International Network for Bamboo and Rattan |
| MLC             | Madeira Laminada Colada                     |
| PTFE            | Politetrafluoroetileno                      |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| INTRODUÇÃO .....  | 11 |
| 1. OBJETIVOS .....  | 13 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....  | 14 |
| 2.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO BAMBU .....   | 14 |
| 2.2 EMPREGO DO BAMBU NA FORMA ROLIÇA .....                                      | 16 |
| 2.2.1 Pontos de conexão das varas de bambu .....                                | 19 |
| 2.2.2 Prolongamento de varas de bambu .....                                     | 20 |
| 2.2.3 Comportamento sobre intempéries.....                                      | 21 |
| 2.3 EMPREGO DO BAMBU LAMINADO COLADO EM ESTRUTURAS.....                         | 22 |
| 2.3.1 Ensaios .....   | 22 |
| 2.3.2 Toxidade das colas.....   | 23 |
| 2.3.3 Resistência ao fogo .....   | 23 |
| 3. MÉTODOS .....  | 25 |
| 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....                                   | 26 |
| 4.1 CASOS DE EMPREGO DO BAMBU COMO ELEMENTO ESTRUTURAL .....                    | 26 |
| 4.1.1 CASO 1 .....  | 26 |
| 4.1.2 CASO 2 .....  | 29 |
| 4.1.3 CASO 3 .....  | 31 |
| 4.1.4 CASO 4 .....  | 33 |
| 4.1.5 CASO 5 .....  | 36 |
| 4.1.6 CASO 6 .....  | 39 |
| 4.2 PROPOSTAS DE DIRETRIZES PARA USO DE BAMBU COMO MATERIAL<br>ESTRUTURAL ..... | 42 |
| 5. CONCLUSÕES .....   | 45 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 47 |

## INTRODUÇÃO

A necessidade de repensar alternativas mais sustentáveis para a construção civil fez avançarem as pesquisas sobre o bambu como material a ser empregado em obras. Este possui grande potencialidade para ser empregado na construção civil, pois além de ser renovável, atinge rapidamente a idade adulta para corte, em cerca de três anos.

O bambu é atualmente um material que possui um maior uso como adorno, sendo pouco difundido na construção civil. Esta limitação de uso se dá muito pela falta de tecnologia e avaliação de seu comportamento estrutural, bem como o baixo índice de pessoal capacitado para a execução de obras diferentes do tipo de construção convencional no Brasil: concreto armado, alvenaria de tijolos, etc.

Considera-se que há necessidade de maior aprimoramento de estudos de seu comportamento acerca de seus pontos fracos como temperatura, chuva e degradação biológica, entre outros. Contudo, o bambu é um material que possui inúmeras vantagens construtivas de caráter econômico e sustentável, podendo surgir como alternativa de material de construção, podendo também se inserir como opção arquitetônica viável e sustentável.

Do ponto de vista estrutural, o bambu possui grande resistência mecânica, bem como fibras que absorvem esforços de tração e colmos<sup>1</sup>resistentes à compressão. No entanto, é comum surgirem longas rachaduras ao longo do seu eixo, que podem ou não afetar seu desempenho estrutural. Pode também ser empregado em forma de lâminas coladas e prensadas, dando um aspecto monolítico altamente durável e resistente.

Para garantir sua vida útil, o bambu precisa receber tratamento antes de seu emprego, bem como manutenções periódicas para garantir sua integridade. Por causa de suas características dimensionais, possui um alto grau de inflamabilidade, devendo haver um cuidadoso estudo de proteção a incêndio e tratamento adequada edificação.

---

<sup>1</sup>O colmo é a parte aérea que possui forma cilíndrica e que contém uma série de entrenós (ocos) separados de forma transversal por diafragmas, dos quais saem os ramos e a folhagem.

O bambu não resiste bem a esforços de força cortante aplicada paralelamente às fibras, exigindo assim um estudo estrutural adequado para avaliação das solicitações mecânicas.

Tendo em vista as propriedades que o material apresenta, faz-se necessário a avaliação da sua proteção contra intempéries, bem como processos de tratamentos indicados para aumentar sua resistência ao fogo, tendo em vista que o bambu é um material altamente inflamável.

Apesar de o Brasil ser muito viável para a exploração do bambu, não há linha de produção em escala comercial, sendo ainda considerado um material alternativo e não uma opção de mercado.

Neste trabalho, busca-se mostrar como o bambu pode ser aplicado em estruturas, seja da forma roliça ou laminada, bem como aprimorar estudos de suas características físicas, de seu comportamento e de sua viabilidade econômica e ambiental.

Mais especificamente, serão apresentados alguns ensaios de resistência a esforços solicitantes realizados com bambu na sua forma roliça e na sua forma laminada colada, demonstrando sua eficiência para emprego em estruturas e até mesmo compará-la com outros materiais como concreto e aço.

As características físicas e mecânicas no bambu demonstram que ele é um material fibroso e com alta capacidade para resistir a esforços de tração e compressão. Também serão apresentadas as formas como as conexões são realizadas, seja com a própria vara de bambu, seja com outros materiais. As ligações precisam ser destacadas e detalhadas para orientar as corretas formas de se executar essas ligações.

Por fim, com o intuito de analisar como a estrutura foi desenvolvida, serão apresentados seis estudos de caso de obras onde o bambu foi empregado na estrutura, além de apresentar como foram feitos os elementos de solidarização como vedação, cobertura e fundação.

## **1. OBJETIVOS**

O objetivo geral visa entender o comportamento e as formas de emprego do bambu como elemento estrutural. Foi delimitado a partir de uma insuficiência de informações acerca do detalhamento de técnicas de construção em bambu. Através dessa pesquisa, pretende-se apresentar as características físicas e mecânicas do bambu, de forma a melhor compreender seu comportamento frente a esforços solicitantes. Os objetivos específicos visam analisar o comportamento do material, verificar a sua forma de emprego em obras já concluídas e apresentar diretrizes para o emprego do bambu como estrutura, de forma a considerar todos os fatores relevantes para evitar patologias.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste tópico, será feita uma revisão bibliográfica acerca do tema para contribuir com as construções teóricas, comparações e validações de resultados.

### **2.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO BAMBU**

A principal característica do bambu, a qual o difere de outros materiais semelhantes, é a rapidez com que chega a fase de corte. Comparado ao eucalipto, o bambu chega à metade de tempo requerido para atingir a idade de corte, alcançando em cerca de dois anos e meio elevada resistência mecânica estrutural. Além disso, possui baixa massa específica, geometria circular oca, estrutura estável, baixo custo de produção e facilidade de manuseio e transporte (GHAVAMI, 1992).

O bambu é formado por fibras longitudinais que se entrelaçam nos nós, criando regiões de alta resistência à compressão, agindo de forma a resistir a esforços transversais e impedir a separação das fibras nos entrenós, proporcionando rigidez aos colmos da vara. Por sua geometria roliça e pela forma dos arranjos das fibras, possui ótimo desempenho estrutural quanto à compressão, torção, flexão e tração.

O bambu é um material leve e de elevada resistência e dureza, com relação à sua massa específica. Após seu corte, o bambu precisa de um tempo de secagem ao ar para a redução do seu teor de umidade. Assim como outras madeiras, o bambu é pouco resistente no contato com água, e a secagem correta evita fissuras, rachaduras e deformações. O correto corte e secagem, além da impermeabilização do bambu, podem evitar esses problemas.

O bambu desenvolve-se facilmente em variados tipos de clima e atinge rapidamente a fase de corte. Como alternativa sustentável, o bambu, assim como outros materiais renováveis, contribui com a redução de CO<sub>2</sub> na atmosfera, além de ter um gasto energético de sua produção inferior ao aço e concreto (Tabela 1).

**Tabela 1** – Energia necessária na produção dos materiais

| Material | MJ/m <sup>3</sup> MPa |
|----------|-----------------------|
| Aço      | 1500                  |
| Concreto | 240                   |
| Madeira  | 80                    |
| Bambu    | 30                    |

**Fonte:**JANSSEN, 1981.

No entanto, o bambu é um material altamente variável, no qual suas propriedades mecânicas, dimensões, massa e comprimento, estão muito relacionados a diversos fatores como espécie, maturidade da vara, tipo de solo, condições climáticas, umidade, etc. Por apresentar essas variações de características físicas, a aderência do bambu em composição com outros materiais pode ser dificultada, havendo a necessidade de um estudo minucioso, bem como normatização para que ele possa ser empregado sem que haja problemas.

Alguns estudos das características do bambu demonstram que é comum o material apresentar defeitos de secagem, devido à diferença de retração das suas fibras. Quando na associação com o concreto, é importante colocá-lo em água de dois a três dias para evitar absorção de água do concreto. A vara do bambu estreita-se em direção ao topo, havendo a necessidade de os projetistas pré-dimensionarem corretamente a vara no projeto (CAPELLO, 2006).

A falta de normatização do emprego do bambu em construção civil é um fator que limita o seu uso, sendo os ensaios muitas vezes realizados com base em parâmetros comparativos com outras madeiras, tornando os resultados mais incertos (OBERMANN; LAUDE, 2008). O *International Network for Bamboo and Rattan* – INBAR (1999) propôs normas para ensaio do bambu, baseado em pesquisas internacionais das suas propriedades físicas e mecânicas. Algumas menções foram que a parte superior do colmo é mais resistente à flexão do que a parte mediana e inferior, e esta possui menor resistência mecânica. Devido a maior quantidade de fibras, a resistência à compressão e flexão aumenta da parte interna para a externa. A densidade nos nós é mais elevada, porém a resistência

à tração, flexão, compressão e cisalhamento são menores, devido à descontinuidade da seção e aos desvios dos feixes de fibras (ICBO, 2000).

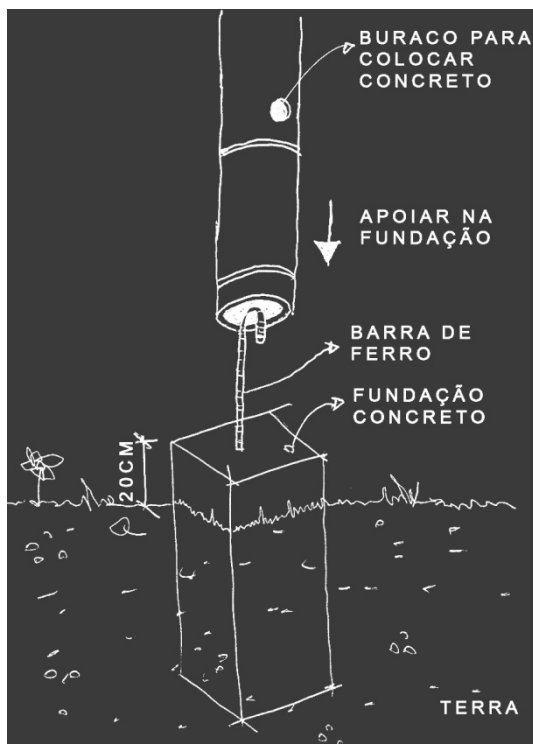
## **2.2 EMPREGO DO BAMBU NA FORMA ROLIÇA**

Devido a sua forma tubular, o bambu possui ótimo desempenho estrutural quanto à absorção de esforços de compressão, torção e tração, esta última facilitada pelo arranjo de suas fibras em forma de feixes. No entanto, sua geometria roliça não permite utilizar as normas elaboradas com ensaio de madeiras. Além disso, não existe hoje nenhuma norma publicada com ensaios do bambu. O único relatório existente na atualidade foi publicado pelo *International Network for Bamboo and Rattan* – INBAR(1994) onde foram propostas normas para ensaio do bambu na sua forma natural.

Tendo em vista sua forma roliça, as conexões das peças de bambu não são muito rígidas, havendo a necessidade do emprego de tesouras e triangulações para o correto travamento. Devido a sua peculiaridade como material, faz-se necessário a supervisão periódica da estrutura, controle de fissuras, sua relação com as intempéries, manutenção e até mesmo substituição de peças. Como cada vara de bambu possui uma variação na espessura da parede e na distância entre os nós, o valor de segurança usado em cálculo estrutural é em torno de quatro vezes a carga real de solicitação de projeto.

Assim como qualquer peça de madeira, é necessário impedir o contato das peças de bambu com o solo para evitar a umidade por capilaridade, que pode causar a deteriorização das peças e a perda da resistência estrutural. Para isso faz-se necessário uma base de concreto ou inserts metálicos.





**Figura 1**–Detalhes de fundação de uma estrutura de bambu rolido

**Fonte:** PROCESSO construtivo de estruturas de bambu: fundação. Grupo de Pesquisas do Cnpq MOM – Morar de Outras Maneiras. UFMG. Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.mom.arq.ufmg.br>>. Acesso em: 23 set. 2018.

A solidarização da vara de bambu com a fundação pode ser feita usando uma barra de ferro aderida no concreto. Logo em seguida é efetuado o preenchimento do colmo com argamassa através de um orifício circular feito na vara (Figura1). O ideal é o emprego de argamassa mais fluida, com menor teor de agregados e maior quantidade de cimento para facilitar o preenchimento e a homogeneidade da nata de concreto.

Em Hong Kong, um dos lugares mais densos e verticalizados do mundo, a maioria dos arranha-céus é construída com andaimes de bambu (Figura2). Os bambus são amarrados com braçadeiras plásticas e os patamares são feitos do mesmo material.



**Figura 2**– Andaimos de bambu

**Fonte:** <<http://www.archdaily.com.br/br/793440/video-andaimos-de-bambu-na-construcao-de-arranha-ceus-em-hong-kong>>. Acesso em: 23 set. 2018.

Peças menores de bambu chegam a suportar tensões de compressão de até 50 MPa, superando até mesmo o concreto convencional, e com densidade três vezes menor que este. O módulo de elasticidade do bambu é cerca de 20.000 MPa, ou 1/10 do valor do aço. Isso significa que a deformação verificada no bambu é menor que no aço. Cabos de bambus trançados chegam a alcançar resistência semelhante ao aço CA-25 (2.500 Kgf/cm<sup>2</sup>), com peso nove vezes menor (CAPELLO, 2006). Colmos maduros e secos possuem melhores condições de resistência.

Pesquisadores da Universidade Estadual de Goiás realizaram ensaios de tração e compressão usando bambus da espécie *Dendrocalamus giganteus* para avaliar seu comportamento físico e mecânico (SOUZA et al., 2007). Os colmos foram secos por oito semanas após este período verificou-se que houve perda de peso, além de mudanças na coloração, apresentando um aspecto mais amarelado. Somente após o período de secagem é que foram separados corpos de prova para início dos ensaios.

Na Tabela 2, verificam-se os valores encontrados no ensaio de tração e compressão, e nota-se que o bambu mineralizado apresentou, nos dois ensaios, resistência superior ao bambu seco normal. O processo de mineralização consiste na preparação de uma solução de silicato de sódio, que, ao ser aplicada em fibras

vegetais, ajudam a eliminar o efeito da absorção de água destes materiais, o que pode influir, benéficamente, no aumento da resistência a esforços solicitantes, além da imunização e consequente durabilidade do material.

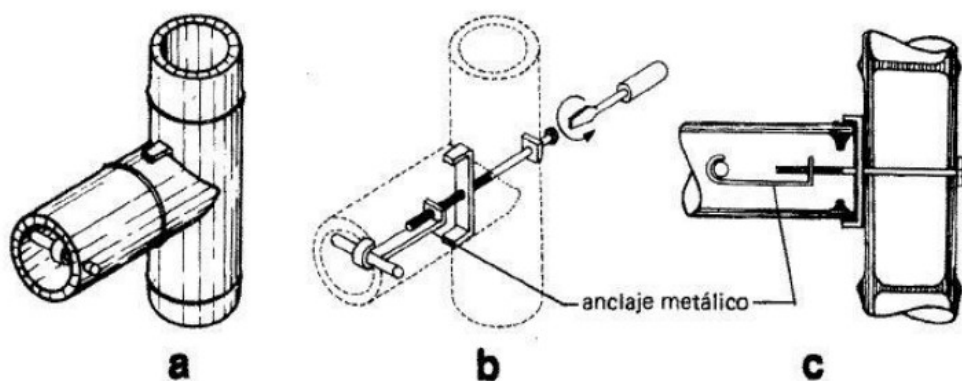
**Tabela 2**– Valores de resistência a esforços solicitantes do bambu

| Tratamentos        | Tração (MPa) | Compressão (MPa) |
|--------------------|--------------|------------------|
| Bambu Seco         | 7,67         | 52,86            |
| Bambu mineralizado | 20,49        | 74,64            |

**Fonte:** Adaptado de SOUZA et al., 2007.

### 2.2.1 Pontos de conexão das varas de bambu

Devido ao seu formato, o encaixe entre as peças de bambu podem ser feitas dos mais diversos tipos e materiais. O bambu pode ser cortado de forma a melhor se encaixar as peças umas nas outras, para posteriormente ser travado através de peças de ligação, barras roscadas, porcas e arruelas (Figura 3). O tipo e a forma como as peças de ligação são colocadas exige cuidado e atenção para evitar a tensão no material e o possível aparecimento de fissuras, tendo em vista algumas fragilidades existentes nas varas de bambu quando expostas a tensões pontuais. Para isso, recomenda-se o uso de arruelas de PVC, pois aumentam a área de contato, reduzindo assim a pressão sobre o material.



**Figura 3**– Encaixe e conexões de varas de bambu

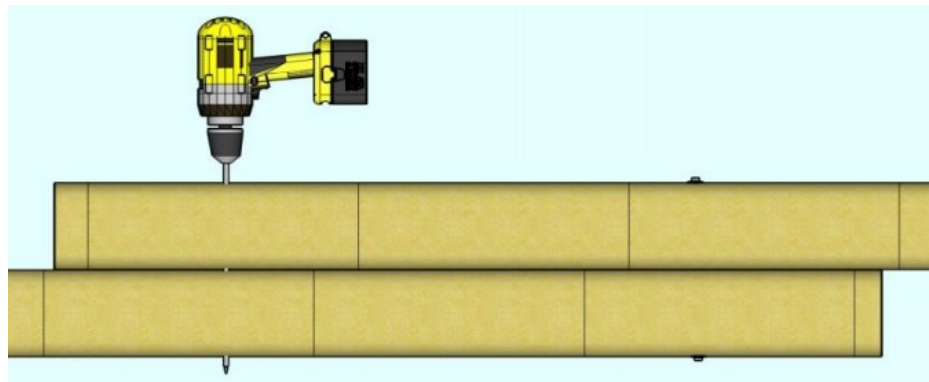
**Fonte:** LOPEZ, 1981.

Nos encaixes nas peças ocorrem esforços de cisalhamento e esmagamento. Por isso, faz-se necessário aumentar a resistência no local, o que pode ser feito com o preenchimento de concreto nos entrenós.

### 2.2.2 *Prolongamento de varas de bambu*

Dependendo da altura da obra a ser realizada ou da logística de transporte das peças, pode ser necessário que se una varas de bambu, de modo a formar uma única vara. Pode ser feito unindo uma peça na outra através de outra vara de bambu de menor diâmetro fixada através de uma barra roscada com sistema de porca, arruela de aço e de PVC (MARÇAL, 2008).

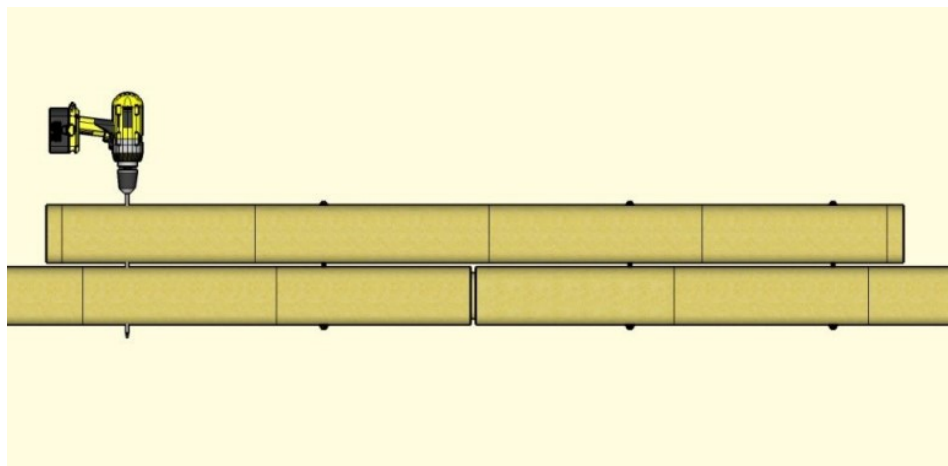
A união também pode ser feita pelo transpasse de duas varas (Figura 4), que devem possuir características as mais semelhantes possíveis, como peso próprio, espessura da parede, diâmetro e resistência. A união também pode ser feita através de uma barra roscada, porca e arruelas.



**Figura 4** – Transpasse entre duas varas

**Fonte:** MARÇAL, 2008.

Outra forma de conexão é o emprego de uma terceira barra de características semelhantes as outras duas, de forma que as conecte através de transpasse, embuchamento interno e braçadeiras de aço nas pontas.



**Figura 5** –Conexãocom emprego de três barras

**Fonte:** MARÇAL, 2008.

As duas últimas formas de conexões alteram a forma da estrutura e seu emprego precisa ser avaliado também junto ao projeto arquitetônico. Cabe ao projetista estrutural e aos arquitetos avaliarem todos os fatores contribuintes para o dimensionamento e o aspecto estético que desejam atingir. A logística de transporte, as dimensões de varas encontradas e o aspecto arquitetônico precisam ser tratados de forma conjunta para que a obra consiga ser fiel às exigências de projeto.

### 2.2.3 *Comportamento sobre intempéries*

Assim como outras madeiras, o bambu é um material pouco resistente e durável quando exposto a condições de chuva, exposição ao sol e umidade. Faz-se necessário então uma proteção a esses fatores, bem como um processo de tratamento e secagem adequados para aumentar a durabilidade das estruturas. Algumas soluções arquitetônicas podem ser empregadas com o intuito de reduzir a exposição solar, principalmente nos horários de maior incidência, como beirais e brises, cabendo ao projetista avaliar a forma mais adequada de proteção para cada fachada. Para beirais, o ideal é que possuam pelo menos 1/3 da altura do pilar.

Outra proteção importante contra intempéries é a impermeabilização das varas com algum selador ou verniz. Seu uso adequado reduz patologias

causadas pela chuva e exposição ao sol, aumentando assim a durabilidade das peças. Não permitir o contato da estrutura de bambu diretamente com o solo também evita a umidade ascendente.

## **2.3 EMPREGO DO BAMBU LAMINADO COLADO EM ESTRUTURAS**

O bambu laminado colado é composto de diversas lâminas de bambu ligadas por meio de um adesivo, gerando assim propriedades mecânicas vantajosas para emprego em estruturas.

No Brasil, estudo e empregode madeiras laminadas coladas não são muito difundidos. No entanto, em países da Ásia há um maior avanço quanto ao domínio da tecnologia e obras já construídas.

### **2.3.1 Ensaios**

Lapo e Beraldo (2008) realizaram ensaios de resistência mecânica de lâminas de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* (bambu-gigante) e resina poliuretana derivada de óleo de mamona. Foram coletados colmos de três anos de idade e transformados em réguas de 150 cm x 2,5 cm e espessuras de 6, 9 e 12 mm. Devido à ausência de norma específica para bambu, adotaram-se especificações da ABNT NBR 7190, 1997 – Ensaios aplicados à madeira.

Como resultado, verificou-se que o bambu laminado colado possui baixa massa específica aparente, entre 0,59 g/cm<sup>3</sup> e 0,75 g/cm<sup>3</sup>. No ensaio de variação dimensional devido a umidade, verificou-se que após duas horas de imersão em água houve aumento da variação tangencial superior a radial, a exemplo do que ocorre em madeiras. No entanto, após 26 horas de imersão, a variação radial passa a ser gradualmente superior a tangencial. A absorção de água variou de 4,82% a 11,02%.

No ensaio de flexão estática, observou-se que a maioria das amostras não rompeu na linha de cola, comprovando uma boa eficiência adesiva. O módulo de elasticidade encontrado foi 18,4 GPa e o módulo de ruptura foi de 121,4 MPa.

No ensaio de compressão simples, a tensão de ruptura variou de 42,6 MPa a 72,4 MPa, o que evidencia o bambu laminado colado como madeira de média a elevada resistência a compressão.

No ensaio de cisalhamento, verificou-se que a ruptura não acontecia na linha de cola, comprovando a forte ligação resultante. As tensões de cisalhamento variaram entre 6 e 17 MPa, valores relativamente altos.

No ensaio, verificou-se que a resistência do bambu é maior próximo a casca, devido a maior quantidade de fibras, e para melhor aderência da cola, deve-se evitar ao máximo o aparecimento de bolhas de ar entre as lâminas de bambu.

### *2.3.2 Toxidade das colas*

Alguns adesivos utilizados para a colagem das lâminas de bambu ou madeira laminada colada possuem alto grau de toxidade e grande potencial cancerígeno, colocando em risco a saúde. Como exemplo as resinas a base de formaldeído que permanece no ar mesmo após o processo de colagem, além de serem constituídos de compostos derivados do petróleo (NORBÄCK, 2009).

Com o intuito de reduzir a emissão de formaldeído e os problemas relacionados à saúde, tem-se notado a busca por materiais naturais que possam substituir estes produtos, sem alterar a qualidade. Há também a necessidade em reduzir o consumo de combustíveis fósseis, incentivando a utilização de produtos a base de recursos renováveis (ÖZBAY; AYRILMIS, 2015).

Segundo o estudo de Lapo e Beraldo (2008), o adesivo poliuretano a base de mamona demonstrou ser bastante eficiente, podendo em muitos aspectos ser competitivo com outros adesivos comerciais. A difusão do uso deste tipo de cola traz grande benefício no aspecto ambiental por se tratar de um produto renovável, além de ser inofensivo à saúde.

### *2.3.3 Resistência ao fogo*

Segundo Santana et al. (2013), a estrutura de madeira resiste bem ao fogo devido a sua baixa condutividade térmica, ou seja, a transmissão de calor da madeira é 12 vezes menor que a do concreto, 250 vezes menor que do aço e 1.500 vezes menor que do alumínio. A baixa condutividade térmica retarda o fluxo de calor para o interior da seção, reduzindo a velocidade da degradação térmica.

A crosta de carbonizada que se forma cria uma camada isolante que retarda ainda mais o efeito da degradação.

Um comportamento a ser observado é que a falência de elementos de madeira ou derivados, como o bambu, quando exposto ao fogo, ocorre pela redução gradual da seção transversal, ao contrário do aço e concreto onde a falência ocorre por modificações na estrutura interna, que mesmo não sendo inflamáveis, chegam mais rapidamente ao colapso, além da melhor condutibilidade de calor desses materiais (PINTO; JUNIOR, 2004).

Ao contrário do aço e concreto, no Brasil não existe nenhuma norma que trata de estruturas de madeira expostas a situação de incêndio. Devido a isto, cabe a consulta à normatização internacional reconhecida para estabelecer parâmetros para tratamento e dimensionamento da estrutura. Cabe ressaltar que o projetista, conhecendo as propriedades do material e seu comportamento quando exposto ao fogo, torna sua especificação mais fácil, mesmo não existindo norma brasileira tratando do assunto.



### **3. MÉTODOS**

O processo de desenvolvimento do trabalho foi feito a partir de levantamentos bibliográficos e pesquisas documentais, no qual foram analisadas as propriedades do bambu como material a ser empregado como estrutura na construção civil.

Inicialmente foram escolhidas seis obras para análise. O critério de escolha foi o tipo de uso do bambu, sendo três obras que utilizaram o bambu na forma roliça e três, que utilizaram a madeira laminada colada– MLC, sendo que de fibras de madeiras diversas. O fato da escolha de MLC, e não de bambu, se deve pela dificuldade de acesso a dados de obras de BLC e ao fato das propriedades da MLC serem semelhantes, independente da madeira utilizada.

Os casos analisados utilizaram os seguintes operadores para sistematizar os dados: local, data, tipo estrutural, tipo de fundação, tipo de vedação, tipo de esquadrias e tipo de cobertura. Após a sistematização dos dados foi feita uma análise de cada obra estudada frente às soluções construtivas adotadas nos respectivos operadores.

Por fim foi feita uma proposta de diretrizes de uso do bambu como material estrutural considerando as propriedades e soluções mais adequadas em cada aspecto analisado.

## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir, serão apresentados os resultados encontrados de emprego do bambu como estrutura e uma análise de obras existentes, onde o bambu foi empregado como material estrutural.

### 4.1 CASOS DE EMPREGO DO BAMBU COMO ELEMENTO ESTRUTURAL

Neste tópico serão apresentados casos do emprego de bambu na forma roliça, no qual se procurou analisar suas soluções construtivas e sua solidarização com outros materiais. O bambu laminado colado ainda é pouco difundido, por isso optou-se por apresentar casos de madeira laminada colada que podem ser comparados entre si por mostrarem comportamento semelhante no que tange a resistência a esforços de tração e compressão (Tabela 3).

**Tabela 3** – Quadro comparativo de esforços solicitantes

|                            | Tração paralela<br>às fibras (MPa) | Compressão paralela<br>às fibras (MPa) | Compressão normal<br>às fibras (MPa) |
|----------------------------|------------------------------------|--|--------------------------------------|
| Bambu Laminado<br>Colado   | 195                                | 55                                     | 18                                   |
| Madeira Laminada<br>Colada | 214                                | 84,2                                   | 25,5                                 |

**Fonte:** Adaptado de MAGALHÃES; SANTOS, 2009 e GONÇALVES et al., 2000.

#### 4.1.1 CASO 1

##### **Casa de Chá Pátio de Bambu**

Localização: ShiQiao, Yangzhou, China.

Data: 2012.

Uso: comercial.

Área: 400 m<sup>2</sup>.

Projeto: Harmony World Consulting & Design.

Construtora: La Vong group JSC.

Material estrutural: Bambu roliço.

Tipo da estrutura: reticular porticada.

Vedação: tijolo e esquadrias de alumínio com vidro.

Tempo de construção: 12 meses.



**Figura 6**– Casa de Chá Pátio de Bambu

**Fonte:** <<https://www.archdaily.com.br/br/01-100155/casa-de-cha-patio-de-bambu-slash-harmony-world-consulting-and-design/510168abb3fc4b4e00000012-bamboo-courtyard-teahouse-harmony-world-consulting-design-photo>>. Acesso em: 28 set. 2016.



**Figura 7** – Solidarização de diferentes materiais associados ao bambu

**Fonte:** <<https://www.archdaily.com.br/br/01-100155/casa-de-cha-patio-de-bambu-slash-harmony-world-consulting-and-design/510168c5b3fc4b4e00000014-bamboo-courtyard-teahouse-harmony-world-consulting-design-photo>>. Acesso em: 28 set. 2016.



**Figura 8**– Vista de toda construção

**Fonte:** <<https://www.archdaily.com.br/br/01-100155/casa-de-cha-patio-de-bambu-slash-harmony-world-consulting-and-design/510168a6b3fc4b4e00000011-bamboo-courtyard-teahouse-harmony-world-consulting-design-photo>>. Acesso em: 28 set. 2016.

Nesta construção, o bambu foi usado como elemento estrutural para sustentar a leve cobertura, também em bambu, além de ser associado a outros elementos de vedação como tijolo e esquadrias de alumínio com vidro. As varas de bambu foram dispostas horizontalmente e verticalmente, contribuindo para a intenção estética da arquitetura. A fundação em palafitas sustenta a edificação acima do solo da região lacustre. Cabe ressaltar que as varas de bambu não resistem bem a intempéries, cabendo como solução afastá-la da região alagadiça, além de impermeabilizá-las, com intuito de evitar sua degradação.

#### 4.1.2 CASO 2

##### **Biblioteca Milton Santos**

Localização: Distrito de Ravena, Sabará, Minas Gerais.

Data: outubro de 2014.

Uso: público.

Projeto: Eric Ferreira Crevels.

Fundação: em forma de palafitas, feitas em concreto, nos quais os bambus foram posteriormente encaixados. A vantagem dessa opção foi a facilidade para o escoamento da água e evitar que a umidade atinja a estrutura.

Material estrutural: Bambu roliço.

Tipo da estrutura: reticular porticada.

Vedação: bambu, vidro e retalhos de compensado naval.

Tempo de construção: 7 meses.



**Figura 9** – Fundação de concreto para encaixe dos bambus roliços

**Fonte:** GHELLER, 2015.



**Figura 10** – Estrutura e conexões

**Fonte:**GHELLER, 2015.



**Figura 11**–Encaixe formato boca de peixe

**Fonte:**GHELLER, 2015.

A fundação da biblioteca foi feita em forma de palafitas com estruturas de concreto para encaixes dos bambus. Esta solução facilitaria o escoamento da água e evitaria a umidade vinda do solo. Os vidros temperados das fachadas foram acoplados em quadrículos também de bambu para absorver esforços da movimentação da estrutura e evitar que o vidro quebre, tendo em vista a dilatação do bambu devido ao seu índice de absorção de água. Na cobertura, também feita em bambu, foram dispostas meias varas intercaladas em posições opostas para o escoamento de água da chuva. Foram também colocadas algumas telhas PVC translúcidas para melhorar a iluminação interna. A estrutura porticada com vigas treliçadas auxilia na resistência da estrutura a esforços solicitantes. Longos beirais evitam que a umidade chegue às fachadas.

#### 4.1.3 CASO 3

##### **Restaurante Roc Von**

Localização: Xa Phu Cat, Huyen Quoc Oai, Hanói, Vietnã.

Data: 2016.

Uso: comercial.

Área: 1100 m<sup>2</sup>.

Projeto: Vo Trong Nghia Arquitetos (Escritório Vietnamita).

Construtora: La Vong group JSC.

Estrutura: colunas de diversas varas bambu conectadas, gerando um pilar tipo cogumelo que apoia a cobertura. O espaço interior é um arco aberto para a paisagem circundante.

Material estrutural: Bambu roliço.

Tipo da estrutura: pilares de bambu flexionado.

Tempo de construção: 12 meses.



**Figura 12** – Detalhe da conexão das varas de bambu

**Fonte:** <<http://votrongnghia.com/projects/roc-von-restaurant/>>. Acesso em: 23 set. 2018.





**Figura 13** – Estrutura de bambu do Restaurante Roc Von

**Fonte:** <<http://votrongnghia.com/projects/roc-von-restaurant/>>. Acesso em: 23 set. 2018.

Bambus de menor diâmetro, flexionados e amarrados uns nos outros, formam a estrutura de doze pilares que sustentam o peso da cobertura. A fundação isola o bambu do solo, e o tratamento das varas utiliza um tradicional método vietnamita, com intuito de alcançar qualidade e durabilidade do material em longo prazo. As varas de bambu unidas formam cascas, que são estruturas onde o carregamento é distribuído em uma superfície. A vantagem estrutural é a possibilidade de uma pequena espessura da casca, que nesse caso se deu por finas e altas varas de bambu, no qual a rigidez a flexão é desprezada.

#### 4.1.4 CASO 4

##### **Expansão do Shopping Iguatemi**

Localização: Fortaleza, Ceará.

Data: 2014.

Uso: comercial.

Área: 4.500 m<sup>2</sup>.

Projeto: La Guarda Low Architects.

Construção: Carpinteria Estruturas de Madeira e Moretti Interholz.

Estrutura: vence vãos de até 48 m. A montagem foi feita com chapas de aço galvanizado, pinos metálicos e parafusos passantes com porca e arruela que não são vistos, pois a estrutura as esconde.

Material estrutural: Madeira Laminada Colada de Abeto, importada da Itália.

Tipo da estrutura: porticada com vigas em “S”.

Fundação: feita em concreto, onde uma base metálica de aço galvanizado com 20 mm de espessura possui duas linguetas que entram nos pilares de madeira, fixadas com pinos metálicos e parafusos passantes. Cada lingueta tem aproximadamente 1 m de altura, projetada para absorver uma porcentagem do momento fletor gerado pela estrutura de madeira. A base metálica eleva a base do pilar a aproximadamente 40 cm do chão, para que ela fique longe da umidade do solo.

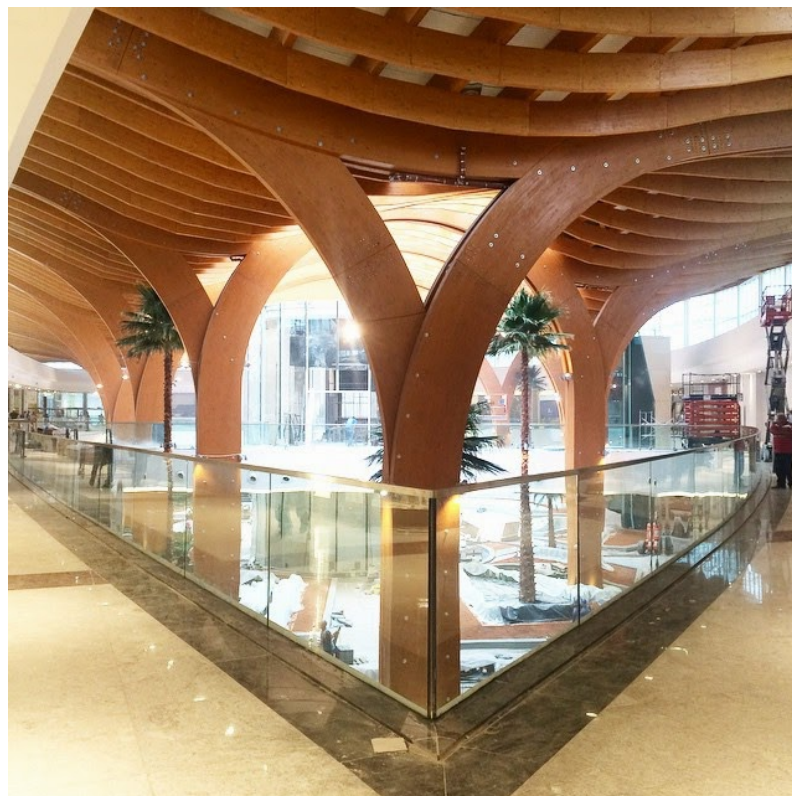
Tempo de construção: 5 meses.

Tratamento: cupinicida aplicado sobre imersão e duas demãos de Stain, um produto hidrorrepelente e com filtro contra raios ultravioleta.



**Figura 14** – Imagem 3D do projeto da estrutura

**Fonte:** <<http://pranchetadearquitecto.blogspot.com.br/2015/04/proj-shopping-expansao-iguatemi.html>>. Acesso em: 23 set. 2018.



**Figura 15** – Estrutura pronta de MLC

**Fonte:** <<http://pranchetadearquitecto.blogspot.com.br/2015/04/proj-shopping-expansao-iguatemi.html>>. Acesso em: 23 set. 2018.

Semelhante ao bambu roliço, a fundação deste projeto em MLC também foi de concreto com uma base metálica para fixar os pilares e elevar a estrutura 40 cm do chão para evitar a umidade vinda do solo. A escolha da solução construtiva de MLC deu-se pela capacidade de se obter grandes vãos livres, além da beleza estética que a madeira proporciona. A dificuldade relatada pela construtora em encontrar no Brasil tecnologia semelhante, além da necessidade de fornecimento das peças de madeira no tempo previsto e o grande volume requerido, fez com que optassem pela importação de todo o material da Itália.

A vantagem construtiva proporcionada pela madeira laminada colada, e isso inclui o BLC, é a rapidez de execução, tendo em vista que as peças são pré-fabricadas, cabendo apenas a montagem no canteiro. Contudo, nota-se a necessidade de uma perfeita execução e de treinamento de mão de obra especializada, pois o material requer uma precisão milimétrica.

A característica principal da MLC é a plasticidade do material e a possibilidade de projetar estruturas marcantes. Neste caso, coube aos projetistas

avaliarem todos os esforços de tensão, compressão e flambagem em certos pontos da estrutura curva para fornecer a rigidez necessária.

#### 4.1.5 CASO 5

##### **CentroPompidouMetz**

Localização: Metz, França.

Data: 2010.

Uso: museu de arte moderna e contemporânea.

Área: 8.500 m<sup>2</sup>.

Projeto: Shigeru Ban Architects.

Construtora: A estrutura de madeira foi feita pela empresa alemã, Holzbau Amann, que desenvolveu a solução junto com o especialista em madeira suíço Hermann Blumer. O gerente de projeto da Holzbau Amann, Tobias Dobele, concebeu as soluções.

Fundação: 405 estacas perfuradas 50 cm a 1 m de diâmetro e 11 m de profundidade.

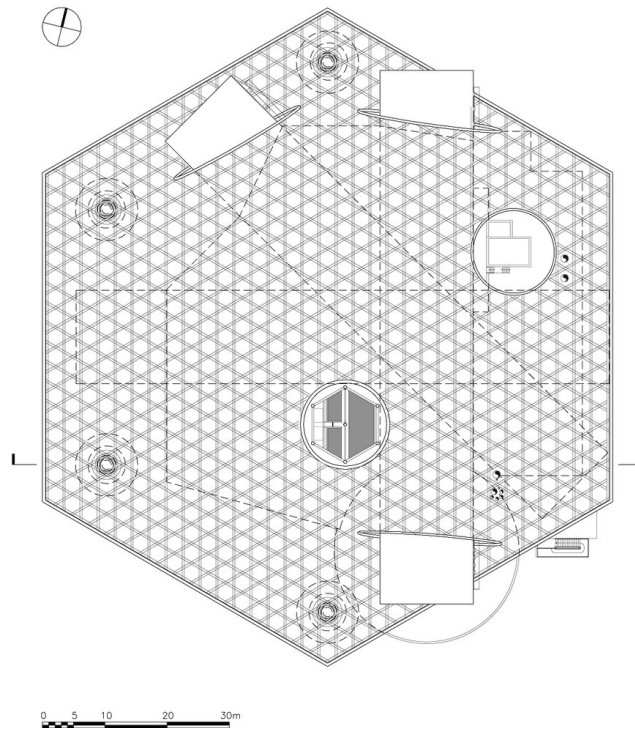
Material estrutural: 95% das vigas para a estrutura são feitas de ABETO da Áustria e Suíça. Outras madeiras utilizadas são de FAIA e LARIÇO.

Estrutura: peças de MLC aparafusadas formam uma malha hexagonal que se une a pilares do mesmo material e a uma torre de 77 metros de aço, que suporta grande parte da carga da cobertura.

Cobertura: membrana têxtil de fibra de vidro e teflon (PTFE) fabricada no Japão pela Taiyopara sua subsidiária na Alemanha, Taiyo Europa.

Tempo de construção: 4 anos.

Custo: 51 milhões de Euros.



**Figura 16** – Planta de Cobertura

**Fonte:** <<http://www.archdaily.com.br/br/617797/centre-pompidou-metz-slash-shigeru-ban-architects>>. Acesso em: 23 set. 2018.



**Figura 17** – Vista externa noturna

**Fonte:** <<http://www.archdaily.com.br/br/617797/centre-pompidou-metz-slash-shigeru-ban-architects>>. Acesso em: 23 set. 2018.



**Figura 18**– Detalhe da construção da estrutura de sustentação

**Fonte:** <<http://estudio4tecnologia.blogspot.com.br/2012/08/centro-pompidou-metz-metz-luana-e.html>>. Acesso em: 23 set. 2018.



**Figura 19** – Sistema versátil de escoramento da cobertura

**Fonte:** <<http://estruturasdemadeira.blogspot.com.br/2012/08/centre-pompidou-metz-arquiteto-shigeru.html>>. Acesso em: 23 set. 2018.

Esta obra envolve a conexão de diferentes tipos de estrutura, como concreto armado, aço e madeira laminada colada. As galerias são feitas em concreto armado, um grande pilar central de aço ajuda a sustentar a cobertura e o elevador, e toda a cobertura superior foi feita em MLC. Toda a fundação foi feita com estacas e a solidarização com a estrutura de madeira foi feita com conectores de aço. O projeto da estrutura envolveu avançados desenhos tridimensionais em computadores e maquete física. A execução só pode ser conseguida através da modelagem em máquinas de CNC avançadas. Para proteção de intempéries, a solução precisava ser plástica e resistente, e, para dar efeito translúcido, optou-se pela membrana têxtil, material muito usado em coberturas de estádios, devido à leveza.

O desafio de projetar e construir uma estrutura como essa é relacionar todos os profissionais envolvidos, tendo em vista sua complexidade de execução. Como é um processo que foge ao convencional, muitos elementos precisam ser elaborados pela equipe ou testados antecipadamente antes do início da construção, como pinos de conexão, solidarizações, escoramentos, entre outros. Por outro lado, além de seu aspecto espetacular, traz desafios aos projetistas e construtores para fugir do convencional e procurar complexas soluções.

#### 4.1.6 CASO 6

##### **Bodegas Protos**

Localização: Peñafiel, Espanha

Data: 2008.

Uso: adega e sede de representação social e administrativa.

Área: 22.000 m<sup>2</sup>.

Projeto: Rogers Stirk Harbour + Partners

Engenharia de estruturas: Arup/Boma/Agroindus

Material estrutural: MLC.

Estrutura: cinco arcos são feitos de um sistema modular de madeira laminada colada, cada um abrangendo 18 metros, têm conexões triangulares de base de aço para a estrutura de concreto armado na base. Possui uma área subterrânea com túneis e galerias para armazenamento de toneis.

Cobertura: a estrutura e a fôrma são de MLC revestida com grandes peças de cerâmica.

Tempo de construção: 5 anos, e 2 anos para a estrutura de madeira.

Custo: 15 milhões de Euros.



**Figura 20**–Vista interna da estrutura

**Fonte:** <<http://www.alonsobalaguer.com/proyectos/obraconstruida/33-bodegas-protos>>.

Acesso em: 23 set. 2018.



**Figura 21** – Vista externa da estrutura

**Fonte:** <<http://www.archdaily.com.br/br/623433/bodegas-protos-richard-rogers-mais-alonso-y-balaguer/535af423c07a8072f200001f-bodegas-protos-richard-rogers-alonso-y-balaguer-image>>. Acesso em: 23 set. 2018.





**Figura 22** – Vista da cobertura

**Fonte:** <<http://www.archdaily.com.br/br/623433/bodegas-protos-richard-rogers-mais-alonso-y-balaguer/535af423c07a8072f200001f-bodegas-protos-richard-rogers-alonso-y-balaguer-image>>. Acesso em: 23 set. 2018.

A estrutura em arco traz grandes vantagens por apresentar a predominância do esforço de compressão e evitar momento fletor, o que facilita o emprego de elementos mais robustos. Nesta construção, a estrutura em arco de MLC vence vãos de 18 metros. O emprego de madeira laminada colada em estruturas na forma de arco traz a possibilidade de estruturas menos robustas, tendo em vista a alta resistência do material a esforços de compressão. Além disso, a pré-fabricação das peças de madeira torna o canteiro mais limpo e agiliza o término da obra.

Na base da estrutura, desde o subsolo, foram empregados pilares de concreto armado, pois resistem bem a esforços de compressão, além de facilitar a solidarização com a madeira.

## **4.2 PROPOSTAS DE DIRETRIZES PARA USO DE BAMBU COMO MATERIAL ESTRUTURAL**

A partir da análise dos resultados encontrados com a pesquisa foi possível verificar que as características físicas do bambu são influenciáveis por fatores como espécie, idade de corte, condições climáticas, época da colheita, teor de umidade das varas, entre outros. O bambu na sua forma roliça apresenta um ótimo desempenho estrutural quanto à compressão, torção, flexão e tração, por conta da sua volumetria tubular e pelo arranjo das suas fibras(GHAVAMI, 1992).

Como o bambu roliço é bastante flexível, quando forem empregadas peças bastante esbeltas, necessita-se do emprego de peças de travamento, pois podem evitar o momento exercido e impedir deslocamentos laterais.

O bambu roliço possui elevada resistência à tração, podendo ser um bom substituto para o aço, além de possuir baixa massa específica, o que é muitas vezes desejável. No entanto, possui baixa resistência a esforços de cisalhamento no sentido das fibras, e o aparecimento de fissuras pode reduzir a resistência da estrutura, além de facilitar a entrada de umidade e o ataque de insetos. É necessário, então, que seja executada uma correta secagem das varas, pois um alto teor de umidade diminui sua resistência ao cisalhamento.

Como no Brasil não há normatização para uso do bambu como estrutura, é importante que haja uma verificação constante do comportamento do material após a obra pronta, como por exemplo, o comportamento frente às intempéries, além da manutenção periódica e controle de fissuras.

Nos casos estudados de bambu roliço foi possível verificar que a solução mais utilizada para evitar a umidade do solo foi isolar a fundação da estrutura, de forma a não deixar que a água chegue até o material. A aplicação de tratamentos contra umidade proveniente de água da chuva e sua manutenção periódica aumenta a vida útil do material.

Vários encaixes são possíveis de serem executados nas conexões das peças de bambu roliço, como o encaixe tipo escama de peixe. É preciso então que haja, antes da execução, um detalhamento de todas as ligações necessárias, seja com o próprio bambu roliço, seja com outros materiais, e que a escolha do tipo de encaixe seja adequada a sua solicitação.

Abaixo seguem algumas diretrizes sintetizadas para o emprego do bambu como estrutura.

**Quadro 1 – Resumo das diretrizes estruturais para emprego do bambu**

|            |          | ROLIÇO   | BLC   |
|------------|----------|--|---|
| Fundações  |          | Concreto armado solidarizada com a madeira afastada pelo menos 40 cm do solo | Concreto armado solidarizada com a madeira afastada do solo   |
| Estrutura  | Pilares  | Esbeltos.<br>Há a necessidade do emprego de peças de travamento              | Peças sob medida que se encaixam  |
|            | Vigas    | Precisam ser bem dimensionadas para evitar fissuras                          | Peças sob medida que encaixadas geram uma estrutura bastante robusta, resistem bem a esforços de flexão |
|            | Parede   |  |   |
|            | Ligações | Feitas com inserts metálicos   | Feitas com inserts metálicos, parafusos, pinos metálicos, chapas de aço                                 |
| Vedações   |          | Qualquer tipo  | Qualquer tipo   |
| Esquadrias |          | Qualquer tipo  | Qualquer tipo   |
| Coberturas |          | Precisam ser impermeáveis e com beiral largo                                 | Precisam ser impermeáveis e com beiral largo  |

**Fonte:**elaboração própria.

O bambu laminado colado possui uma grande variedade plástica, pois pode ser facilmente empregado na forma curva, além de facilmente vencer grandes vãos com peças menos robustas, conforme visto nos casos anteriores. Analisando a resistência a esforços solicitantes, a estrutura de BLC apresenta menos patologias que de bambu roliço, tendo em vista sua forma e tratamento posterior, e se corretamente preparado, não apresenta ruptura na linha de cola, constituindo um material sólido, compacto e altamente resistente a esforços. Assim como outras madeiras, necessita de tratamento contra intempéries e insetos, além de manutenção periódica.

A possibilidade dada pelo BLC de criar projetos com formas orgânicas induz toda a equipe de projeto a usar todo aparato tecnológico para o máximo de detalhamento do produto, seja para desenhar peça por peça e suas conexões, bem como avaliar a correta execução em obra. Recomenda-se que o BLC esteja pelo menos a 40 cm do solo para evitar umidade por capilaridade, podendo a solidarização com a fundação ser realizada a partir de inserts metálicos.

## 5. CONCLUSÕES

A dificuldade em especificar estruturas feitas de bambu, devido à pouca referência de normas publicadas com ensaios e diretrizes para dimensionamento dessas estruturas, seja na forma roliça, seja na forma laminada colada, tem sido uma barreira para que seu emprego seja difundido. O fato pode estar relacionado ao uso mais constante de outros materiais como aço e concreto que ao longo dos anos têm sido opções mais fáceis e seguras para grandes estruturas.

Como os colmos de bambu variam muito entre si devido a sua geometria, tem-se uma maior dificuldade em definir parâmetros claros para adoção de normatização, tendo em vista a heterogeneidade dos corpos de prova. No entanto, existe a necessidade em se padronizar e normatizar as formas de ensaios, para adequação dos resultados obtidos a depender da espécie, idade, dimensões.

O bambu, assim como outras madeiras, é um material que pode apresentar muitas patologias, caso não seja corretamente tratado após seu corte. É preciso um conhecimento técnico do seu manuseio para que não haja problemas futuros no seu emprego. Os estudos das características físicas e mecânicas apresentadas nesta pesquisa, que detalham o emprego do material na construção civil, sejam na forma roliça ou laminada, buscaram suprir a insuficiência de informações acerca do detalhamento de técnicas de construção em bambu.

Contudo, foi possível verificar que existem alguns ensaios realizados em laboratório onde foi possível determinar a resistência do bambu a esforços solicitantes de tração, flexão, compressão e cisalhamento. O bambu pode suportar elevadas tensões, podendo substituir o concreto e/ou aço, com a vantagem de ser um material bem mais leve.

Com a pesquisa foi possível verificar que o seu emprego na forma roliça precisa ser bem especificado em projeto, necessitando de um detalhamento das conexões e encaixes das peças e sua forma de travamento. Também é preciso verificar como será feita a solidarização com a fundação e com outros materiais, pois o bambu possui comportamento bastante peculiar quando exposto a intempéries, principalmente no teor de absorção de água.

No mundo inteiro, é possível encontrar obras realizadas com madeira laminada colada. No entanto, o bambu laminado colado ainda é pouco difundido, apesar de apresentar um comportamento semelhante a outras madeiras que estão nessa mesma forma. A conexão das lâminas de bambu é bastante forte nas linhas de cola, verificando que os pontos de rompimento nos ensaios foram verificados fora da linha.

Os estudos acerca do BLC ainda são muito recentes, e a falta de domínio da tecnologia dificulta seu emprego no Brasil. No entanto, pode-se considerar o BLC como um material de grande potencial para o futuro, por ser renovável e com baixo gasto energético para sua produção, aliado a inúmeras possibilidades criativas de projeto e execução. A partir do estudo das suas características mecânicas, pode-se concluir que o BLC é uma boa opção projetual quando se quer vencer grandes vãos, aliado à beleza da estrutura.

A importância econômica e ambiental do bambu para o mundo nos leva a destacar a necessidade da continuação dos estudos acerca de suas características físicas e mecânicas, além de se utilizar de avanços tecnológicos já presentes em países asiáticos, onde o bambu e a madeira são mais amplamente utilizados. O bambu surge a partir de então como um material do futuro, de potencial transformador, renovável, ecológico e belo. Atualmente, já pode ser empregado como outra opção de tecnologia construtiva, e aos poucos pode vir a se tornar uma opção perfeitamente viável economicamente e estruturalmente, de conhecimento difundido, aliado a todos os outros materiais que nos são oferecidos, podendo ajudar a transformar nossa forma de ver e projetar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAPELLO, G. Projetos: Construções de bambu. **Téchne**, n. 108, 2006.
- GHAVAMI, K. Bambu. um material alternativo na engenharia. In: **Engenharia**, n. 492, p. 23-27, 1992.
- GHELLER, G. Biblioteca na cidade mineira de Sabará é construída com bambu. **Revista AU**, São Paulo, n. 258, p. 14-15, set. 2015.
- GONÇALVES, M.T.T.; PEREIRA, M.A.D.R.; GONÇALVES, C.D. **Ensaio de resistência mecânica em peças laminadas de bambu**. In: XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Fortaleza: Anais. CONBEA, 2000.
- ICBO, I.C.O.B.O. **Acceptance Criteria for Structural Bamboo**. California: ICBO Evaluation Service, Inc, 2000.
- JANSSEN, J.J.A. **Bamboo in building structures**. Eindhoven: Thesis (PhD in Building and Planning) - Eindhoven University of Technology, Eindhoven, v. 1, 1981.
- LAPO, L.E.R.; BERALDO, A.L. Bambu Laminado Colado (BLC). **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Campinas, v. 1, n. 2, p. 165-177, maio/ago. 2008.
- LOPEZ, O.H. **Manual de construcción com bambu**. Cali: Estudios Técnicos Colombianos, 1981.
- MAGALHÃES, L.N.D.; SANTOS, P.R.D.L.D. A madeira laminada colada como material estrutural de uma construção sustentável. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 1, n. 2, p. 25-27, jul./dez. 2009.
- MARÇAL, V.H.S. **Uso do bambu na construção civil**. Brasília: Monografia de Graduação em Engenharia Civil. Universidade de Brasília – UNB, 2008.
- METHODOLOGIES FOR TRIALS OF BAMBOO AND RATTAN. International Network for Bamboo and Rattan and Universiti Pertanian Malaysia. Singapore, 1994.
- NORBÄCK, D. An update on sick building syndrome. **Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology**, Hagerstown, v. 9, n. 1, p. 55-59, 2009.
- OBERMANN, T.M.; LAUDE, R. **Bambu: recurso sostenible para estructuras**. Medellín: Universidad Nacional de Colômbia, 2008.
- ÖZBAY, G.; AYRILMIS, N. Bonding performance of wood bonded with adhesive mixtures composed of phenol-formaldehyde and bio-oil. **Industrial Crops and Products**, London, v. 66, p. 68-72, Apr. 2015.
- PINTO, E.M.; JUNIOR, C.C. Taxa de carbonização da madeira x resistência ao fogo, n. 92, nov. 2004.
- SANTANA, P. L. et al. Tratamento anti-chamas para madeiras utilizadas. **Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas**, Sergipe, v. 1, n. 17, p. 99-108, out. 2013.

SOUZA, J.M.F. et al. Resistência à tração e compressão do bambu dendrocalamus giganteus após tratamento de mineralização, Anápolis, p. 1-5, 2007.

TYRRELL, H.G. **History of bridge engineering**. Chicago: [s.n.], 1911. 490 p.