

O uso do bambu como material estrutural na construção civil

Gabrielly da Mota Nunes ^[1], Antônio da Silva Sobrinho Júnior ^[2], Jaiane dos Santos Pastor ^[3]

[1] gabriellymota@hotmail.com. [2] sobrinhojr@hotmail.com [3] jaianedossantosp@gmail.com. Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ)/Departamento de Engenharia Civil.

RESUMO

A construção civil é responsável por gerar grandes impactos ambientais, fazendo-se necessário adotar alternativas que reduzam essa problemática e atendam ao desenvolvimento sustentável. Entre as alternativas, destaca-se a substituição dos materiais convencionais por outros mais limpos, a exemplo do bambu. Trata-se de um vegetal de rápido desenvolvimento, com propriedades e potencialidade para ser utilizado na construção civil. Devido à sua elevada resistência à tração, torna-se equiparável ao aço. Partindo desse princípio, a presente pesquisa exploratória de método qualitativo apresenta como objetivo abordar o uso do bambu como material estrutural na construção civil. Por meio de uma metodologia de cunho bibliográfico, explicita-se as propriedades, os benefícios e as limitações do bambu na construção civil. Além disso, para melhor exemplificar o uso do bambu como material estrutural, foram expostas construções com esse material, como também, por meio de um questionário, foi realizada uma análise da sua utilização na construção civil no Brasil. Desse modo, verifica-se que o bambu é um material que detém propriedades úteis para ser utilizado na construção civil. Entretanto, no Brasil, sua utilização ainda não ocorre de forma ampla, devido a fatores que limitam o seu uso.

Palavras-chave: Bambu. Resistência. Tração. Sustentável. Construção.

ABSTRACT

Civil construction is responsible for big environmental impacts, becoming necessary to adopt alternatives that reduce this problem and meet the needs of a sustainable development. Among the alternatives, we highlight the replacement of conventional materials by cleaner ones, for example, the bamboo. It is a vegetable of rapid development, with properties, and potential to be used in civil construction. Given its high tensile strength, it becomes comparable to steel. Based on this principle, this exploratory research, by using a qualitative method, aims to address the use of bamboo as a structural material in civil construction. Through a bibliographic methodology, it explains its properties, benefits, and limitations in civil construction. In addition, to better exemplify the use of bamboo as a structural material, constructions with this material were exposed. Through a questionnaire, an analysis of its use in civil construction in Brazil was also carried out. Thus, it turns out that bamboo is a material that has useful properties for use in civil construction. Nevertheless, in Brazil, it is still not widely used due to factors that limit its use.

Keywords: *Bamboo. Resistance. Traction. Sustainable. Construction.*

1 Introdução

Na construção civil, novas técnicas e inovações vêm sendo utilizadas com o intuito de desenvolver uma construção mais limpa, econômica e de maior satisfação social. É possível adotar novas técnicas no material utilizado, no processo e na gestão da construção, de forma que se atenda aos três fatores citados.

A construção civil é um setor importante a ser enquadrado no desenvolvimento sustentável, visto que é responsável por grandes impactos ambientais, oriundos da extração de recursos naturais, da fabricação dos materiais de construção, da execução e da destinação dos resíduos. Isso tudo acarreta problemas não só ambientais, como também econômicos e sociais. Dessa forma, a fim de propor ações de redução dos impactos ambientais, faz-se necessário realizar um estudo de medidas que atendam ao desenvolvimento sustentável. Com isso, a construção civil busca, ao longo dos anos, a adoção de medidas que revertam a problemática advinda da sua atividade, por meio da substituição de materiais convencionais por materiais sustentáveis, assim como propõe o gerenciamento e a reciclagem dos resíduos gerados.

O bambu é uma alternativa útil como material estrutural em substituição ao uso abusivo do aço e do concreto. Em relação às suas propriedades, o bambu apresenta grande resistência e boa trabalhabilidade, além de possuir características semelhantes às do aço, principalmente quanto à resistência à tração. O bambu se torna uma resposta para a construção sustentável, no que diz respeito à utilização de materiais que contribuam na redução da problemática vigente na construção civil. Por se tratar de um material não poluente, o bambu apresenta propriedades comparáveis às de outros materiais convencionais utilizados na construção civil, tornando-se, assim, uma alternativa mais econômica, com baixo consumo de energia e maior benefício ao meio ambiente.

Partindo desse princípio, o presente artigo tem como intuito estudar o uso do bambu na construção civil como material estrutural em substituição aos materiais convencionais, por meio de uma análise teórica das suas propriedades, das suas limitações e dos seus benefícios como material construtivo. Além disso, busca-se exemplificar possibilidades de aplicações desse material na construção civil. A coleta de dados será feita por meio de um questionário com

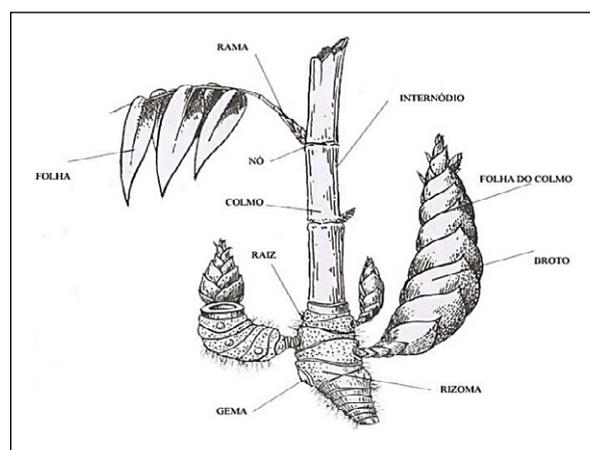
vistas a analisar a utilização do bambu como material estrutural no Brasil.

2 Referencial teórico

2.1 Morfologia e principais espécies de bambu

Os bambus são plantas gramíneas, herbáceas gigantes e lenhosas, de rápido desenvolvimento e classificada como *Bambusea* (MORÉ, 2003). Segundo Azzini e Beraldo (2001) conforme citado por Moré (2003), os colmos de bambu saem do solo com diâmetro e números de nós definidos. Em menos de um ano, o bambu atinge a sua altura máxima e, após esse tempo, os colmos vão aumentando a sua resistência. O bambu apresenta uma parte aérea formada por colmo, folhas e ramificação e outra parte subterrânea constituída de rizoma e raiz (PADOVAN, 2010), conforme a figura 1.

Figura 1 – Partes do bambu



Fonte: NBMA, 2004 apud PADOVÁN, 2010.

“O colmo é a parte aérea que possui forma de tronco de cone e contém uma série de entrenós (ocos) separados de forma transversal por diafragmas (nós), dos quais saem os ramos e destes as folhas.” (MORÉ, 2003). O colmo possui um tecido formado por células de parênquima, feixes vasculares e fibras; essa última é responsável pela resistência mecânica do colmo. De acordo com Sobrinho Júnior (2010), as células parenquimáticas possuem como característica a presença de amido, que varia de acordo com a espécie, a época do ano e a idade dos colmos.

O amadurecimento do colmo vem logo após a sua época de crescimento, com duração em torno de

três anos, quando atinge a sua resistência máxima. Cada espécie de bambu apresenta colmo com altura, diâmetro, espessura das paredes e crescimento distintos uma da outra. As propriedades mecânicas do bambu dependem do conteúdo de fibras e são influenciadas pela umidade do colmo, levando-se em consideração, também, a sua idade e a sua densidade. O bambu apresenta maior resistência quando é utilizado seco, em comparação com sua condição verde (MORE, 2003).

Há aproximadamente 50 gêneros de bambu e 1.300 espécies, sendo encontrados desde os trópicos até as regiões temperadas, sendo mais frequentes em regiões quentes, bem como em regiões com chuvas abundantes das regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América do Sul. As espécies do gênero *Guadua* ocorrem na Amazônia (Acre e Pará), além de serem encontradas no Pantanal e Foz do Iguaçu. Elas possuem espinhos nos colmos e nos ramos (PEREIRA; BERALDO, 2008 *apud* SOUZA, 2014).

Souza (2014) cita que o INBAR (1998) classificou 20 espécies como prioritárias com base no cultivo, processamento, produtos, recursos genéticos e características edafoclimáticas. Entre elas, cita-se a *Bambusa vulgaris* (*B. surinamensis*), *Dendrocalamus asper* (*Bambusa áspera*, *Gigantochoa áspera*, *Dendrocalamus flagellifer*, *Dendrocalamus merrillianus*), *Dendrocalamus giganteus* (*Bambusa gigantea*), *Guadua angustifolia* e *Phyllostachys pubescens*. De acordo com Marçal (2018), a espécie *Guadua angustifolia* apresenta as melhores características para uso estrutural na construção civil, devido à sua grande dimensão e à pouca variação dimensional entre os colmos. Também a espécie *Dendrocalamus asper* possui excelente qualidade e resistência mecânica.

2.2 Propriedades físicas, químicas e mecânicas

O bambu possui alta produtividade, visto que, dois anos e meio após ter brotado do solo, apresenta boa resistência mecânica, como também possui baixo peso específico e geometria circular oca. Entre as boas características do bambu, cita-se a leveza das construções realizadas com esse material. De acordo com Teixeira (2003) *apud* Murad (2007), a umidade natural do bambu varia de 13% a 20%, de acordo com o clima e a espécie. Ademais, as mudanças dimensionais devido à umidade, ocorrem mais no diâmetro, ou seja, no sentido radial.

Os colmos do bambu são constituídos por celulose, hemicelulose, lignina, e, em quantidade menor, por resinas, taninos, ceras e sais orgânicos. Todavia, essa composição varia de acordo com a região do colmo, e os nós apresentam menores teores de substâncias solúveis, pentosanas, cinzas e ligninas e maior teor de celulose (LIESE, 1985 *apud* ESPELHO, 2007).

Uma das propriedades que tornou esse material atrativo para a utilização na construção civil é o fato de a sua resistência à tração ser elevada e se equiparar à do aço. De acordo com Murad (2007), quando se relaciona a resistência à tração do bambu, com o seu peso específico, o resultado é um valor 2,77 maior que o do aço. Vale salientar, também, que o bambu gasta pouca energia na sua produção, diferentemente do aço, tornando atrativa a sua utilização na construção civil, em substituição a esse último material.

Ghavami e Marinho (2005) realizaram um estudo das propriedades mecânicas da espécie *Guadua angustifolia*. O bambu atingiu uma resistência média à tração de 86,96 MPa, obtendo, na parte central, maior resistência, com resultado equivalente a 95,80 MPa no corpo de prova sem nó, e 82,92 MPa com nó. A diminuição da resistência no corpo de prova com nó ocorre devido à descontinuidade das fibras nesse ponto, visto que as fibras são determinantes na resistência do bambu. Além disso, vale ressaltar que, em diversos ensaios, há ruptura no nó, ou próximo a ele. No topo, a resistência foi equivalente a 115,84 MPa, no corpo de prova sem nó, e 64,26 MPa com nó. De acordo com Ghavami e Marinho (2001), *apud* Ghavami e Marinho (2005), a resistência à tração do bambu de espécie *Guadua angustifolia* é 34% menor que a da espécie *Dendrocalamus giganteus*. Ademais, o módulo de elasticidade médio foi de 15,11 GPa no sentido longitudinal às fibras, e o coeficiente de Poisson foi de 0,26.

Em relação à resistência à compressão, o nó não apresentou grande influência nos resultados. O valor médio obtido foi equivalente a 29,48 MPa, valor máximo de 29,62 MPa com nó, e 34,52 MPa sem nó. O módulo de elasticidade médio foi de 12,58 GPa. Com base nos resultados da resistência ao cisalhamento interlaminar, o *Guadua angustifolia* é menor que o da espécie *Dendrocalamus giganteus*, com diferença de 60%, quando comparado aos resultados obtidos pela pesquisa da PUC-Rio. Além disso, quando comparado o resultado da resistência à compressão de ambas as espécies em pesquisas, há uma diferença de 41,6% entre os valores (GHAVAMI; MARINHO, 2005).

Além disso, a parede do bambu apresenta boa resistência à compressão, principalmente o bambu maduro, que na sua parte externa, possui um composto de sílica e cera que o protege da retenção da umidade interna, o que garante maior proteção físico-mecânica na estrutura (OLIVEIRA, 2013).

2.3 Bambu como material estrutural

O bambu é utilizado na construção civil desde a época dos primórdios, os quais utilizavam esse material na construção de cabanas. Além disso, é antiga a sua utilização como material estrutural na América do Sul, principalmente na Colômbia, mas também, em países como China e Japão. De acordo com Sobrinho Júnior (2010), o bambu tem potencial para ser utilizado na construção civil, substituindo o aço em elementos estruturais, como laje de concreto com forma permanente de bambu, andaimes, treliças, elementos de reforço de paredes, entre outras possibilidades. Vale salientar, também, que, segundo Tedeschi (2011), o bambu pode ser utilizado na sua forma roliça ou em ripas, combinado com outros materiais, tais quais o concreto ou a argamassa, como também, como bambu laminado em revestimentos.

No Brasil, há diversos ensaios realizados com esse material em busca de suas propriedades e de sua melhor execução no âmbito da construção civil. Mesmo diante da ausência de normas técnicas específicas para a utilização do bambu na construção civil, os pesquisadores realizam a adaptação de normas semelhantes e que se enquadram no sistema, de modo a auxiliar na análise.

2.4 Vantagens e desvantagens do bambu

2.4.1 Vantagens

Entre as vantagens do bambu como material de construção, cita-se: 1) apresenta um ciclo de rápido crescimento, podendo ser produzido em grande escala em uma pequena área; 2) apesar de possuir baixa densidade, é um material resistente que suporta elevadas solicitações quando tracionado, possuindo uma estrutura que suporta bem as cargas dinâmicas (FERREIRA, 2002). Além disso, o bambu possui eficiência energética superior ao aço e ao concreto e apresenta elevada resistência mecânica, principalmente em relação à tração, podendo ser utilizado em diversos elementos estruturais (SOBRINHO JÚNIOR, 2010).

2.4.2 Desvantagens

O colmo de bambu apresenta pequena durabilidade natural, devendo ser realizados procedimentos para o seu corte, a sua cura, a sua secagem e os seus tratamentos preventivos (SOBRINHO JÚNIOR, 2010). Ghavami e Barbosa (2007) *apud* Oliveira (2013) afirmam que pelo fato de o bambu ser uma matéria prima de origem vegetal, deve-se evitar a exposição excessiva à umidade, a grandes variações de temperaturas e ao calor intenso. Além disso, o bambu apresenta baixa aderência ao concreto e à argamassa. Por ser um material higroscópico, quando em contato com a água, há uma variação dimensional, dificultando a sua aderência ao concreto (SOBRINHO JÚNIOR, 2010). Vale salientar, também, que o bambu apresenta baixo módulo de elasticidade quando comparado ao aço. Recomenda-se, portanto, que a área do bambu, em peças de concreto, seja seis vezes maior que a necessária para o aço (GHAVAMI, 1992 *apud* FERREIRA, 2002).

2.5 Tratamento e preservação

O bambu é um material suscetível ao ataque de insetos e fungos. Por apresentar amido nas células parenquimáticas, torna-se alvo de ataques do caruncho ou broca-do-bambu (*Dinoderus minutus*). A exposição às intempéries e o contato com a umidade do solo também favorecem o ataque de fungos. Para verificar o tratamento adequado para o bambu, é preciso que se leve em consideração os seguintes fatores: há espécies de bambu que contêm alto teor de amido, tornando-se menos resistentes ao ataque de organismos xilófagos; a época do corte influencia na quantidade de amido existente, assim como o tempo entre o corte do colmo e o seu tratamento. Tudo isso interfere na eficiência do bambu (AZZINI; BERALDO, 2001). Diante disso, a eficiência do tratamento do bambu depende das suas características, do tipo de substância preservativa e do método aplicado (ESPELHO, 2007).

2.5.1 tratamentos tradicionais (naturais)

Para tornar o material mais durável, deve-se levar em consideração a idade do bambu, visto que os colmos mais maduros são mais resistentes ao ataque de fungos e insetos, e apenas até uma certa idade, pois, posteriormente, começam a degradar-se. Como material estrutural, devem ser utilizados os colmos maduros e totalmente lignificados (AZZINI; BERALDO,

2001). Os tratamentos tradicionais podem ser: cura no bambuzal, imersão em água, tratamento pelo fogo e tratamento pela fumaça.

2.5.2 Tratamentos químicos

Os tratamentos químicos são mais eficazes que os tradicionais, com a aplicação de substâncias para proteger o bambu de organismos xilófagos, o que também o protege quando colocado em contato com o solo. Os produtos químicos, quando utilizados em quantidade adequada, tornam-se tóxicos aos organismos xilófagos, sem afetar os humanos e os animais. Para obter eficiência adequada, o produto deve ser inserido profundamente no material, de forma a evitar sua evaporação e também sua eliminação pela chuva e pela umidade (AZZINI; BERALDO, 2001). Os tratamentos químicos podem ser: imersão em solução de sais e substituição de seiva.

2.5.3 Tratamentos sob pressão

Os tratamentos sob pressão podem ser pelo método de Boucherie Modificado, realizado por meio de um dispositivo sob pressão hidrostática, e também pela autoclave, cujo procedimento é semelhante ao da madeira, sendo o método de Boucherie Modificado o mais eficaz.

2.5.4 Tipos de preservativos

Os preservativos utilizados podem ser os hidrossolúveis, sendo o mais eficaz o ácido bórico com bórax, devido ao fato de provocar menor agressão ao meio ambiente. Além disso, também podem ser os oleosos, como o creosoto e os oleossolúveis, como o pentaclorofenol (pó da China).

2.6 Ligações

As ligações são pontos críticos no bambu, tornando-se fundamental o estudo detalhado da ligação mais eficiente a ser utilizada, de forma a garantir a segurança da construção e a se adequar aos esforços solicitados na estrutura.

2.6.1 Ligações parafusadas

De acordo com Arranz, Braga e Caminhola (2011), as peças parafusadas são mais indicadas que as pregações, pois, nessa primeira técnica, há um corte nas fibras, sem ocorrer o afastamento, o que evita as fissuras e o cisalhamento. Segundo Moré (2003), nessa

ligação, deve-se evitar o contato direto entre o bambu e o parafuso, sendo indicado o uso de silicone ou borracha para evitar fissuras e esmagamentos, como também, para impedir a entrada de água e de insetos.

2.6.2 Ligações amarradas

As ligações amarradas devem vir sempre associadas a elementos que contribuam com o enrijecimento, como: parafusos, pinos ou outras peças, de forma a evitar o afrouxamento e a instabilidade (MORÉ, 2003). De acordo com Cardoso Júnior (2000), essa técnica é muito utilizada, porém apresenta pouca eficiência, por não apresentar a rigidez necessária para garantir a boa eficiência da ligação.

2.6.3 Ligações encaixadas

As ligações que fazem uso de entalhe devem estar associadas a elementos como amarras, pinos, parafusos, cola, entre outros (SOARES, 2011). Nesse tipo de ligação, há grande dificuldade de encaixe entre peças de bambu, devido à variação de diâmetro entre ambas. O encaixe se torna instável pela tendência de rotação. Todavia, apesar desse problema, essa técnica é necessária em qualquer tipo de ligação (CARDOSO JÚNIOR, 2000).

2.6.4 Ligações Simón Vélez

Segundo Cardoso Júnior (2000), o arquiteto Simón Vélez criou uma proposta de ligação através da injeção de concreto nos entrenós das ligações, mais especificamente, nos segmentos que apresentam ligações parafusadas. De acordo com López (1974) *apud* Cardoso Júnior (2000), a ligação consiste em realizar um orifício feito na parte superior do colmo após ser parafusado e, posteriormente ao travamento da estrutura, é injetado o concreto.

2.7 Aspectos normativos para o uso do bambu na construção civil

Devido ao bambu fazer parte da cultura de alguns países, visto que, nesses países o gênero *Guadua* é uma espécie nativa presente em diversas regiões, houve a necessidade de normatizar o seu uso e, dessa forma, grupos de profissionais redigiram diversas normas com o intuito de garantir o uso correto do bambu na construção civil. A Índia, país que possui uma grande variedade de bambus nativos, e os utiliza em habitações desde a antiguidade, foi

o pioneiro em normas técnicas através da norma INDIAN STANDARD 6874, desenvolvida em 1973. Entretanto, a ISO (International Organization for Standardization) é a mais utilizada e serviu de base para a criação de outras normas existentes, através da adição de informações acerca dos sistemas estruturais e problemas relacionados a terremotos e ventos. A ISO engloba 3 normas técnicas: Structural design - ISO 22156: 2004; Determination of physical and mechanical properties - Part 1: Requirements - ISO 22157-1: 2004; Determination of physical and mechanical properties - Part 2: Laboratory manual - ISO 22157-2: 2004 (MARÇAL, 2018). Além da Índia, países como a Colômbia (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente: NSR-10), Peru (Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma NTE E.100) e Equador (Norma Ecuatoriana de la Construcción: NEC - Estructuras de *Guadúa* (GaK)) também possuem norma técnica para o uso do bambu na construção civil (MARÇAL, 2018).

No Brasil não há uma norma regulamentadora, apesar de o bambu ser alvo de muitos estudos por pesquisadores e ser vantajosa a sua utilização nesse país, devido à fácil adaptação ao clima tropical úmido. Por ser utilizado em diversas obras estruturais, faz-se necessária a regulamentação do bambu no Brasil e sua normatização na construção civil (MARÇAL, 2018).

Entretanto, no Brasil, em janeiro de 2020, foram elaborados pelo Comitê de Estudo de Estruturas de Bambu (CE-002:126.012) dois projetos de normas técnicas para construção de bambu, que estão, até então, sem valor normativo. O Projeto ABNT NBR 16828-1 aborda os requisitos básicos para projetos estruturais com colmos de bambu. Versa acerca das suas propriedades físicas e mecânicas, bem como acerca da sua durabilidade. Entretanto, esse projeto não é adequado para estruturas com bambu laminado colado e em compósitos com bambu. Já o Projeto ABNT NBR 16828-2 estabelece métodos de ensaios para determinação das propriedades físicas (teor de umidade, massa por volume e retração) e mecânicas (resistência à compressão paralela às fibras, resistência à flexão do colmo, resistência ao cisalhamento paralelo às fibras e resistência à tração paralela às fibras) dos colmos.

3 Método da pesquisa

A presente pesquisa apresenta vasta análise do tema, partindo de um estudo bibliográfico acerca do uso do bambu como material estrutural na construção civil. Com ênfase em estudo teórico sobre a utilização do bambu na construção civil, analisa aspectos construtivos, propriedades, competências e limitações desse material, de forma a obter uma análise conclusiva do objeto de estudo.

O método qualitativo será utilizado para apresentar os aspectos da qualidade do bambu. O levantamento de informações aconteceu por meio de uma pesquisa exploratória e construiu uma base sólida e conclusiva acerca do tema proposto pelo estudo.

Além disso, para melhor análise da utilização do bambu na construção civil no Brasil, será exposto um levantamento de dados obtidos por meio de um questionário que foi realizado em janeiro de 2020, através de meio eletrônico, cuja pesquisa continha 8 perguntas e foi apresentada à uma população de estudo formada por profissionais da construção civil, totalizando 52 pessoas.

4 Resultados da pesquisa

4.1 Construções utilizando o bambu como material estrutural

4.1.1 Pavilhão em bambu e biomateriais

Situado no Serviço Social do Comércio SESC no Brasil, na cidade de Paraty-RJ, com autoria da Bambutec Design, o pavilhão apresenta dimensões de 15x23 metros, totalizando uma área de 345 m², com uma estrutura modular autoportante em bambu revestido de biocompósitos em membranas tensionadas (figura 2) e a cobertura com treliças de bambu em formato pantográfico, em conjunto com uma membrana acrílica. Essa estrutura apresenta uma técnica que contribui na praticidade de montagem e desmontagem da estrutura, que durou em torno de 30 dias. Além disso, o pavilhão apresenta uma estrutura que visa à redução de impactos ambientais, com a utilização de fontes de energias limpas.

Figura 2 – Pavilhão em bambu e biomateriais



Fonte: DIAS, 2018.

Como sistema de proteção dos colmos de bambu, foi realizado o encapsulamento do material com biocompósitos formados por terra crua, cola PVA, manta de algodão e polímero poliuretano à base de mamona, com restrição de materiais nocivos. Essa técnica, além de proteger contra ataques de insetos, também permite a troca de ar no material. Ademais, para a ligação dos bambus, foi realizada a técnica de amarras com cabo poliéster. Para a análise da estrutura foram feitos projetos físicos e computacionais (figura 3).

Figura 3 – Projeto 3D do pavilhão



Fonte: BAMBUTEC, 2018.

4.1.2 Ponte de bambu

Devido à sua boa resistência, o bambu pode ser utilizado em obras de infraestrutura pública, como por exemplo, em pontes. Partindo do objetivo de mostrar os benefícios do bambu como material estrutural através de uma construção de infraestrutura pública, os arquitetos Andrea Fitrianto, Klaus Dengen e Sisca Pramudya criaram a ponte de bambu com 18 metros de comprimento e largura que varia de 1,8 a 2,3 metros, construída na cidade de Solo em Java Central (província da Indonésia), com o intuito de formar uma travessia para pedestres (figura 4).

Figura 4 – Ponte de bambu



Fonte: FRITANTO, 2017.

Toda a estrutura da ponte foi feita com bambu da espécie *Dendrocalamus Asper*, com exceção do piso, que foi feito de concreto armado (figura 5). Para proteger a estrutura, foram colocados beirais, de modo a prolongar a durabilidade da ponte. Além disso, a ligação entre os bambus foi por meio da técnica parafusada com parafusos de aço galvanizado, sendo o mais recomendado devido à maior estabilidade e por evitar o aparecimento de fissuras.

Figura 5 – Estrutura de bambu

Fonte: FRITANTO, 2017.

4.1.3 Sharma Springs

Em Bali, na Indonésia, fica localizada uma casa sustentável que utilizou bambu como material estrutural em quase toda a sua totalidade, sendo uma das maiores construções de bambu em Bali, cuja autoria arquitetônica é da IBUKU (figura 6). A casa possui design de flor de lótus, com duas torres apresentando pilares de 18 metros em uma área de 750 m².

Figura 6 – Sharma Springs

Fonte: IBUKU, s.d., 2019.

Os bambus utilizados são da espécie *Dendrocalamus Asper*, colhidos maduros nas ilhas de Bali e Java, na Indonésia, com duração de três a cinco anos para se tornarem adequados para utilização como material estrutural. Como forma de proteção contra ataques de insetos e fungos, foi realizado um tratamento que consiste na imersão dos colmos em uma solução de boro, de modo a não se tornar um material palatável aos insetos. Para evitar danos por umidade e radiação solar, a cobertura foi feita com bambus suspensos sustentados por pilares inclinados, com telhado também feito de bambu e revestido de alumínio (figura 7).

Figura 7 – Coberta com bambus suspensos

Fonte: HELMI, 2012.

Com o intuito de analisar a estrutura e a sua viabilidade, foram realizados projetos que apontaram que a estrutura apresenta vida útil mínima de 25 anos. Vale salientar que, além da estrutura, o bambu também foi utilizado nos móveis, paredes, pisos e escada.

4.1.4 Escola verde – Green school

A Green School é uma escola sustentável localizada em Bali, na Indonésia, com área construída de 7542 m² (figura 8). A construção foi idealizada pelos ambientalistas e designers John e Cynthia Hardy, em conjunto com a PT Bambu e a Meranggi Foundation. A finalidade é mostrar a sustentabilidade por meio de uma construção sustentável, principalmente através da utilização do bambu como material estrutural e também por meio da promoção de atividades educacionais sustentáveis.

Figura 8 – Escola verde



Fonte: PT Bambu, 2012.

A escola, que realiza o cultivo sustentável do bambu, apresenta um amplo campus com salas de aula, habitação para os estudantes, e academia. Todos os espaços contidos no campus foram construídos utilizando-se do bambu como material estrutural. A estrutura possui colunas de bambu entrelaçadas umas nas outras, com telhado em formato de espiral e uma claraboia de modo a permitir a passagem da luz natural (figura 9). Além da estrutura da escola, o bambu também foi utilizado nos móveis, lousas e na geração de energia, por meio da serragem do material, formando a biomassa. Para fixação das peças de bambu, foram utilizadas as técnicas de ligações parafusada e encaixe.

Figura 9 – Telhado em espiral



Fonte: PT Bambu, 2012.

4.2 Análise do uso do bambu como material estrutural no Brasil

Como abordado ao longo do estudo, o bambu é um material de origem vegetal de grandes propriedades e vantagens para ser utilizado na construção civil, no entanto, a sua utilização no Brasil ainda é escassa. De modo a analisar o uso do bambu na construção civil no Brasil, foi realizado um questionário com profissionais da construção civil.

Ao analisar o gráfico 1, verifica-se que, no Brasil, há pouca utilização do bambu como material de construção, visto que, 71,2% das pessoas nunca usaram o material. A pouca utilização se deve a diversos fatores que acabam limitando o seu uso. De acordo com a análise da opinião dos entrevistados acerca da pouca utilização do bambu como material de construção no Brasil, a limitação no uso desse material é devido aos seguintes motivos: pouco conhecimento e incentivo; falta de consolidação de uma cadeia produtiva; ausência de mão de obra especializada; fatores culturais e ausência de normas técnicas específicas.

Gráfico 1 – Quantidade de pessoas que já utilizaram o bambu como material de construção



Fonte: Autora, 2020.

Os 28,8% de pessoas que já fizeram uso do bambu na construção civil (gráfico 1), afirmaram que utilizaram esse material nos seguintes sistemas construtivos: gridshell, estruturas provisórias, vigas, estruturas de cobertura, pilares, pequenas estruturas, cobertas leves, estruturas piramidais, pérgola,

geodésica, yurt e outros sistemas sem função estrutural, como: pau a pique, bahareque, calfitice, andaimes, mobílias, estudos laboratoriais e em placas pré-moldadas. Desse modo, ao analisar os sistemas construtivos utilizados, verifica-se que há uma variedade de aplicação do bambu no Brasil mesmo com as limitações do seu uso, mostrando que a sua utilização não se aplica apenas à função estrutural, mas também a andaimes e estruturas geométricas e a técnicas mistas para entamar a terra. Há estudos sendo realizados para outras aplicações, também.

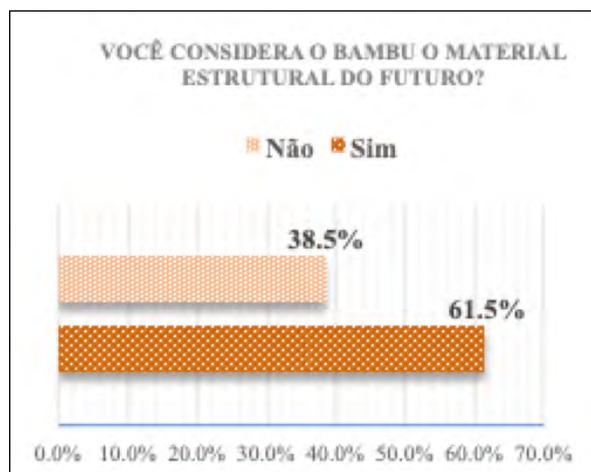
Com base na análise do gráfico 2, 94,2% das pessoas consideram o bambu um material com potencialidade para ser utilizado na construção civil. Entretanto, ao serem questionados se o bambu pode ser considerado o material estrutural do futuro (gráfico 3), 61,5% responderam que sim. Com isso, verifica-se que, ainda que a maior parte das pessoas afirmem considerar o bambu com boas propriedades para ser utilizado na construção civil, percebe-se uma diminuição nesse percentual quanto ao uso do bambu como material estrutural do futuro. Isso se deve à ausência de conhecimentos, conforme foi justificado por alguns profissionais da pesquisa.

Gráfico 2 – Quantidade de pessoas que consideram o bambu um material de potencialidade e viabilidade técnica, com boas propriedades para ser utilizado na engenharia civil e arquitetura



Fonte: Autora, 2020.

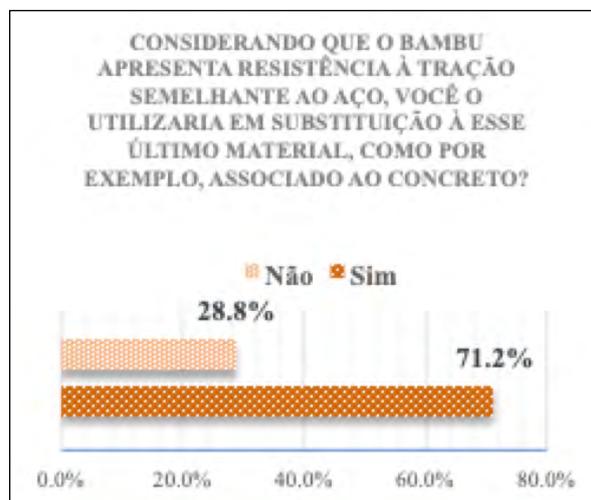
Gráfico 3 – Quantitativo de pessoas que consideram o bambu o material estrutural do futuro



Fonte: Autora, 2020.

Ao serem questionados acerca da utilização do bambu em substituição ao aço, como por exemplo, associado ao concreto, 71,2% responderam que utilizariam o bambu (gráfico 4). Apesar de o bambu apresentar boa resistência mecânica, principalmente à tração quando relacionado ao seu peso específico, se equiparando a do aço, ainda há receio na utilização do bambu como material de construção. Como o aço apresenta grandes propriedades e é utilizado em abundância na construção civil, os construtores acabam se limitando a esse material convencional.

Gráfico 4 – Percentual de pessoas que utilizariam o bambu em substituição ao aço



Fonte: Autora, 2020.

Gráfico 5 – Quantidade de pessoas que utilizariam o bambu em obras de infraestrutura e de maior porte



Fonte: Autora, 2020.

O gráfico 5 mostra que 63,5% das pessoas utilizariam o bambu em obras de infraestrutura e de maior porte (gráfico 5). Vale salientar que, conforme exposto ao longo desse estudo, o bambu não se restringe apenas às pequenas construções, visto que há obras de maior porte que utilizam o bambu como material estrutural, por exemplo, pontes de grandes vãos e escolas. Além disso, há estudos sobre a aplicação desse material em tratamento de esgoto, conforme pesquisa realizada por Tonetti (2008). O tratamento combinou filtro anaeróbico com recheio de bambu, com filtro de areia e reator de desnitrificação. De acordo com Netto (2008), o efluente resultante pode ser utilizado na descarga sanitária, na jardinagem, na irrigação e, ao ser realizado uma desinfecção, pode ser disposto nos cursos d'água.

5 Conclusão

Em síntese, é evidente a necessidade da substituição dos materiais convencionais por aqueles que causem menor impacto ambiental, social e econômico. É fato notório os amplos desgastes causados nessas três esferas, e isso acontece desde a extração dos materiais à execução da construção. Diante disso, o bambu, que é um material renovável e tem propriedades comparáveis às dos materiais convencionais, se enquadra no grupo de materiais sustentáveis e eficientes para ser utilizado na construção civil, até por apresentar alta produtividade e gerar menor desperdício.

Como visto, o bambu possui resistência à tração equiparável ao aço, quando relacionado ao seu peso específico, construindo estruturas leves e de boa resistência, com características estruturais que possibilitam o seu uso em vigas, lajes, pilares, entre outros elementos estruturais. As boas propriedades desse material foram corroboradas no estudo dos ensaios realizados para a obtenção das suas propriedades, conforme supracitados no texto. O bambu não tem sua utilização limitada apenas às pequenas construções, como residências, mas também pode ser utilizado em construções de maior porte e estruturas geométricas mais complexas, como pontes e geodésica, podendo isso ser comprovado pelo presente estudo. Além disso, há a possibilidade da utilização do bambu em conjunto com outros materiais, como o concreto, precisando haver, entretanto, maiores estudos acerca da melhoria da aderência de ambos os materiais. De forma a garantir a durabilidade e a qualidade da estrutura, faz-se necessário o estudo e a execução correta dos cortes, dos tratamentos, das ligações, entre outros aspectos, mediante a elaboração de adequado projeto e proteção física.

Para consolidar uma melhor análise do uso do bambu na construção civil, foi realizado um questionário com profissionais da construção civil no Brasil e observou-se que há uma maior credibilidade atribuída aos materiais convencionais, devido a alguns fatores que limitam o uso do bambu na construção civil, entre eles: o fator cultural, a ausência de normas técnicas específicas, a falta de uma cadeia produtiva e a carência de mão de obra especializada. Entretanto, mesmo com a pouca utilização desse material no país, pôde-se observar que há uma diversidade de uso, desde as estruturas mais simples, às estruturas mais complexas.

Para que haja um aumento da utilização do bambu na construção civil, é de extrema importância o incentivo de leis para o seu cultivo, de modo que haja uma cadeia produtiva sólida do bambu pronto para ser utilizado na construção. Além disso, é fundamental o aumento da mão de obra qualificada. Vale ressaltar, ainda, que a existência de uma norma técnica específica acarretaria no aumento de construções com bambu, pois a ausência de uma regulamentação correta impede a adequada utilização do material e limita a sua utilização.

REFERÊNCIAS

- ARRANZ, Flávia Aguiar; BRAGA, Débora Coting; CAMINHOLA, Patrícia Felipe. **Construções de bambu**: Análise estrutural de um edifício de bambu. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil – Escola de Engenharia de Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2011.
- AZZINI, Anizio; BERALDO, Antonio Ludovico. **Métodos práticos para utilização do bambu**. Campinas: Universidade de Campinas, 2001. 14 p.
- BAMBUTEC. **Pavilhão em bambu e biomateriais** (2018). Disponível em: <https://bambutec.com.br/galpao/>. Acesso em: 17 de novembro de 2019.
- BORTOLUZZI, Camila. **Escola Verde / PT Bambu** (2012). Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/01-51359/escola-verde-pt-bambu>. Acesso em: 20 de dezembro de 2019.
- CARDOSO JÚNIOR, Rubens. **Arquitetura com bambu**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- CASTRO, Fernanda. **Sharma Springs / IBUKU** (2019). Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/776711/sharma-springs-ibuku>. Acesso em: 15 de dezembro de 2019.
- DIAS, Juan. **Pavilhão de estrutura de bambu implantável/Design Bambutec** (2018). Disponível em: https://www.archdaily.com/903971/deployable-bamboo-structure-pavilion-bambutec-design/5bc541fff197cc171200042f-deployable-bamboo-structure-pavilion-bambutec-design-photo?next_project=no. Acesso em: 17 de novembro de 2019.
- ESPELHO, Jean Claudio Chiozzini. **Tratamento químico de colmos de bambu pelo método de Boucherie modificado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- FERREIRA, Gisleiva Cristina dos Santos. **Vigas de concreto armadas com Bambu**. Campinas. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, SP, 2002.
- FITRIANTO, Andreia. **Ponte de bambu na Indonésia demonstra alternativas sustentáveis para infraestruturas** (2017). Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/874064/ponte-de-bambu-na-indonesia-demonstra-alternativas-sustentaveis-para-infraestruturas/59443be3b22e38c05f000111-bamboo-bridge-in-indonesia-demonstrates-sustainable-alternatives-for-infrastructure-photo?next_project=no. Acesso em: 7 de janeiro de 2020.
- GHAVAMI, Khosrow; MARINHO, Albanise B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2005, 9.1: 107-114. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000100016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Kbc8SzVVdMYshSJ6fHsvyfk/?lang=pt>. Acesso em: 15 de janeiro de 2020.
- HELMI, Rio. **Sharma Springs/IBUKU** (2012). Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/776711/sharma-springs-ibuku/55791dede58ecedce5000112-sharma-springs-ibuku-photo?next_project=no. Acesso em: 15 de dezembro de 2019.
- IBUKU. **Sharma Springs Residence** (s.d.). Disponível em: <https://ibuku.com/sharma-springs-residence/>. Acesso em: 15 de dezembro de 2019.
- INTERNATIONAL NETWORK OF BAMBOO AND RATTAN – INBAR. **Priority species of bamboo and rattan**. New Delhi, India. f.116, 1998.
- MARÇAL, Vitor Hugo Silva. **Análise comparativa de normas técnicas internacionais para o emprego do bambu** – colmo em estruturas prediais. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- MORÉ, Telmo Norberto Moreira. **Estrutura treliçada em bambu para utilização em telhados residenciais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- MURAD, José Roberto de. **As propriedades físicas, mecânicas e meso-estrutural do bambu *Guadua weberbaueri* do Acre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2007.
- NETTO, Carmo Gallo. Método testado com sucesso por engenheiro na FEC pode ser implantado em pequenas comunidades: engenheiro usa bambu, areia e pedra em tratamento de esgoto. **O Jornal da UNICAMP**, Campinas, 2008, p. 4. Disponível em: https://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/jornalPDF/ju389pag04.pdf. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

OLIVEIRA, Luiz Fernando Andrade de. **Conhecendo bambus e suas potencialidades para uso na construção civil**. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

PADOVAN, Roberval Bráz. **O bambu na arquitetura: desing de conexões estruturais**. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Bauru, Bauru, 2010.

PT BAMBU. **Escola Verde/PT Bambu** (2012). Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/01-51359/escola-verde-pt-bambu/the-green-school_1286979718-03-green-school. Acesso em: 20 de dezembro de 2019.

SOARES, Mariana. **Análise do uso do bambu como painéis e como reforço de ligações entre elementos estruturais**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SOBRINHO JÚNIOR, Antônio da Silva. **Avaliação do efeito de parâmetros microestruturais e de processo de impregnação de fluidos em colmos de *bambusa vulgaris***. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

SOUZA, Andressa Martinelli de. **Os diversos usos do bambu na construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

TEDESCHI, Samara Pereira, *et al.* **O uso do bambu: o papel da cadeia produtiva no setor moveleiro e da construção civil no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Sociedade) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2011.

TONETTI, Adriano Luiz, *et al.* **Tratamento de esgotos pelo sistema combinado filtro anaeróbio e filtros de areia**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

VADA, Pedro. **Pavilhão em bambu e biomateriais / Bambutec Design** (2018). Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/903912/pavilhao-em-bambu-e-biomateriais-bambutec-design>. Acesso em: 17 de novembro de 2019.

ZORN, Annalise. **Ponte de bambu na Indonésia demonstra alternativas sustentáveis para infraestruturas** (2017). Tradução de Eduardo Souza. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/874064/ponte-de-bambu-na-indonesia-demonstra-alternativas-sustentaveis-para-infraestruturas>. Acesso em: 7 de janeiro de 2020.

[com.br/br/874064/ponte-de-bambu-na-indonesia-demonstra-alternativas-sustentaveis-para-infraestruturas](https://www.archdaily.com.br/br/874064/ponte-de-bambu-na-indonesia-demonstra-alternativas-sustentaveis-para-infraestruturas). Acesso em: 7 de janeiro de 2020.