

BAMBU ESTRUTURAL: POSSIBILIDADES PARA UMA ENGENHARIA SUSTENTÁVEL

STRUCTURAL BAMBOO: POSSIBILITIES FOR A SUSTAINABLE ENGINEERING

LUIZA SOUZA NEVES FRADE DA CRUZ | Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio), Brasil

MARCELO MIRANDA BARROS, Dr. | Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Brasil

RESUMO

É consensual a ideia de que a indústria da construção civil vem deixando uma alta pegada ecológica, fruto, principalmente, dos materiais empregados e das técnicas adotadas. Neste sentido, torna-se imprescindível endereçarmos nossas atenções ao estudo de alternativas aos métodos convencionais de se fazer engenharia. Partindo de um viés ecológico e socialmente responsável, o presente trabalho coloca em pauta as possibilidades de utilização do bambu enquanto material de construção, realizando, de maneira sistemática, uma revisão bibliográfica concisa acerca de sua caracterização, suas propriedades e seus diversos usos. O estudo desenvolvido utilizou-se de fontes nacionais e internacionais da literatura, explorando bancos de dados como Google Scholar, Portal de Periódicos da Capes e SciELO. Os resultados obtidos evidenciam as potencialidades do bambu como material de engenharia, devendo-se ressaltar, no entanto, a necessidade da realização dos tratamentos, o cuidado na execução das conexões e a importância de um projeto adequado para minimização da exposição da estrutura. De maneira geral, sua leveza, alta resistência, abundância em regiões de clima tropical, versatilidade, viabilidade econômica, baixo impacto ambiental e acelerado crescimento, permitem ao bambu ser inserido, em escala nacional, entre os insumos da construção civil, podendo promover mudanças e ressignificações nos âmbitos socioeconômico e ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Bambu; Construção Civil; Meio Ambiente.

ABSTRACT

It is consensual the idea that the construction industry has been leaving a high ecological footprint, mainly due to the materials used and the techniques adopted. In this regard, it becomes essential that we address our concerns to the research of alternatives to the conventional methods of doing engineering. From an ecological and socially responsible bias, the present research points out the possibilities of using bamboo as a building material, carrying out, in a systematic way, a concise bibliographic review regarding its characterization, its properties and its several uses. The study was developed using national and international literature sources, exploring databases such as Google Scholar, Portal de Periódicos da Capes and SciELO. The results obtained highlight the potentialities of the bamboo as a building material, it's important to enhance however the need for treatments, the caution in performing the joints and the relevance of a suitable design in order to minimize the exposure of the structure. In general, its lightness, high strength, abundance in tropical regions, versatility, economic feasibility, low environmental impact and speedy growth, permits the bamboo to be inserted among the construction supplies, bringing changes and resignifications in the socio-economic and environmental spheres, on a national scale.

KEYWORDS: Bamboo; Construction; Environment.



1. INTRODUÇÃO

Demarcado por sua elevada pegada ecológica, o setor da construção civil é responsável por cerca de 23% das emissões totais de CO₂ na atmosfera (HUANG *et al.*, 2018). Em geral, os materiais mais utilizados são o aço e o concreto, estando os seus processos produtivos atrelados a uma frágil agenda ambiental, pautada pelo excessivo lançamento de gás carbônico no meio. Ao longo da história, a produção de cimento e aço brasileiros é caracterizada não apenas por sua significativa emissão de CO₂, mas também pela intensa geração de resíduos sólidos.

Tendo em vista a urgência de remediação dos impactos ambientais causados pelas práticas construtivas mais tradicionais, torna-se imprescindível endereçarmos nossas atenções a materiais não convencionais e abriremos espaço para que novas técnicas (menos agressivas) possam se consolidar na área da construção civil. Assim, faz-se necessário aprofundarmos nossos conhecimentos e pesquisas sobre a utilização de materiais renováveis, como os de origem vegetal, que não depreendem substancialmente o entorno para sua produção (GHAVAMI, 2005; GHAVAMI 2008).

Nesse cenário, ganha destaque o bambu como um material resistente, de baixa densidade, de baixo custo e de desempenho mecânico satisfatório (possível aplicação estrutural). Além de sua capacidade em resistir às solicitações externas, o bambu apresenta uma demanda energética em sua produção muito inferior quando comparada aos materiais convencionalmente utilizados nas construções (OLIVEIRA, 2006; GHAVAMI, 2008). Cabe destacar que o bambu não apenas é responsável por uma menor geração de resíduos em seu processo de fabricação, como também contribui no sequestro de elevadas taxas de CO₂ durante sua vida útil (DELGADO, 2011).

Conforme evidenciado por Janssen (1981), a colheita do bambu acontece de modo que apenas os colmos maduros são retirados, os colmos mais novos são deixados e esse processo é realizado todo ano. Tanto para o microclima quanto para a economia local, essa colheita anual se mostra mais vantajosa que a da madeira, a qual requer no mínimo 20 anos, e em certos casos até mais de 80 anos, para recuperação da área devastada (RAZAFINDRATSITO, 2018). Em uma comparação feita entre concreto, aço, madeira e bambu, o último apresenta uma demanda energética de produção (MJ/kg) aproximadamente 60 vezes menor que a do aço, 2 vezes menor que a da madeira e 1,6 vezes menor que a do concreto

(MANANDHAR; KIM; KIM, 2019).

Apesar das vantagens oriundas da adoção de práticas construtivas não convencionais, ainda existem barreiras a serem superadas para a sua implementação, principalmente ao se olhar para o cenário brasileiro. A incipiente elaboração de normas para o uso estrutural do bambu, a baixa divulgação de informações técnicas sobre os materiais locais entre a população e a falta de interesse do Estado para o incentivo ao emprego de práticas não convencionais em edificações, são fatores que atuam como barreiras ao uso do bambu nas construções em escala nacional.

Neste sentido, busca-se aqui fazer uma reunião de saberes acerca da utilização do bambu na construção civil, apresentando suas potencialidades e algumas das características que o delimitam. A partir de um olhar sensível aos recursos nacionais, esta pesquisa privilegiou o estudo do bambu *Guadua angustifolia*, espécie natural da América Latina, de abundância em território brasileiro e de grande aplicabilidade na engenharia. Através de uma revisão bibliográfica, o presente trabalho toca não apenas nos aspectos construtivos do bambu, mas também no viés socioambiental a ele relacionado.

2. O BAMBU

2.1 Caracterização

Segundo Hidalgo-López (2003), o bambu é uma planta lenhosa pertencente às angiospermas, da família Graminae (Poaceae) e subfamília Bambusiodeae. Com cerca de 121 gêneros e 1662 espécies, o bambu se distribui entre as regiões dos trópicos e as regiões temperadas, estando presente em todos os continentes, a exceção da Europa (CANAVAN *et al.*, 2017). Apesar de popularmente ser considerado como uma árvore, o bambu é, em realidade, uma grama arborescente gigante, de grande ocorrência em zonas quentes e chuvosas, como as regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América do Sul (HIDALGO-LÓPEZ, 1974; GHAVAMI, 2005).

O bambu encontra-se naturalmente entre as latitudes 45°30' Norte e 47° Sul, estando distribuído desde o nível do mar até grandes altitudes. Por exemplo, na Índia, podem ser encontradas espécies do gênero *Arundinaria* a 3.000 m de altitude (PEREIRA e BERLDO, 2008). De acordo com Filgueiras e Gonçalves (2004), o Brasil possui a maior diversidade de espécies de bambu entre os demais países da América Latina, o que corresponde a, aproximadamente, 230

espécies de 34 gêneros. Essa graminácea gigante, de uso milenar, apresenta um rápido crescimento, podendo alcançar até 1 metro por dia. Aliado ao seu veloz desenvolvimento, o bambu apresenta custo de colheita e tratamento consideravelmente inferior em relação aos materiais convencionais (GHAVAMI, 2005; FONSECA, 2007).

A espécie *Guadua angustifolia*, colocada em evidência neste trabalho, é originária da Colômbia, sendo cultivada comercialmente, de forma mais expressiva, no Equador, Panamá e Costa Rica (FONSECA, 2007). Além do potencial para uso estrutural (ARANDA JÚNIOR, 2014; TAM, 2004), o bambu do gênero *Guadua* possui uma alta produtividade: é estimado que por volta de um hectare de *Guadua* possa produzir 50 m³ de bambu por ano, enquanto para a madeira os valores seriam de 2,3 a 10 m³ por ano (DE FLANDER e ROVERS, 2008).

Os métodos de propagação da planta são abordados por Guilherme, Ribeiro e Cereda (2017), que destacam, entre outros, a reprodução sexual, o método assexuado e o método colombiano (por meio de chusquines). A forma de propagação depende de uma série de fatores, como o vigor da planta matriz, as condições ambientais favoráveis e o substrato apropriado. A espécie *Guadua angustifolia* difunde-se predominantemente pelo método dos chusquines, isto é, pequenas brotações basais, em crescimento com raízes convergindo ao rizoma originário (GUILHERME; RIBEIRO; CEREDA, 2017; GRECO, 2010).

Pertencente às plantas conhecidas como “C₄”, o bambu desempenha um importante papel na captura de CO₂ da atmosfera e, conseqüentemente, na redução do efeito estufa (DELGADO, 2011). De acordo com Guedes Pinto, Rocha e Bastos (2018), o processo de respiração das plantas, em que é absorvido O₂ e liberado CO₂ no meio, é quase nulo (praticamente não elimina CO₂ nas espécies denominadas C₄. Isto é possível graças a um mecanismo de armazenamento dos gases pelas fibras do vegetal, o que diminui significativamente as emissões de dióxido de carbono.

De forma geral, a planta é estruturada em uma parte aérea denominada colmo e outra subterrânea formada pelo rizoma e pelas raízes. Em modo aproximadamente cilíndrico, os colmos são subdivididos em entrenós ocos, cujos comprimentos são variáveis ao longo do eixo longitudinal, sendo constituídos por, aproximadamente, 50% de células parenquimatosas, 40% de fibras e 10% de feixes vasculares (LIESE e TANG, 2015). Os colmos são separados transversalmente pelos diafragmas,

que garantem maior rigidez e contribuem para combater a flambagem local da parede, conferindo ao bambu sua capacidade de suportar ações do vento e do peso próprio (HIDALGO-LÓPEZ, 1974; PEREIRA e BERALDO, 2008).

O rizoma, que consiste no órgão subterrâneo, além de gerar novos colmos e raízes, armazenar e transportar nutrientes da parte aérea, proporciona também maior proteção contra queimadas. Almeida (2016) destaca que o bambu foi a primeira planta a crescer após os ataques nucleares em Nagasaki e Hiroshima, em virtude de sua alta resiliência, que é conferida, em grande parte, pelo rizoma.

Segundo Pereira e Beraldo (2008) a resistência mecânica dos colmos é proveniente principalmente das fibras que constituem o tecido esclerenquimático. Transversalmente, elas se concentram na parte externa da parede dos colmos, região com menores quantidades de tecido parenquimatoso; e, verticalmente, se concentram sob o topo, onde distribuem-se também pequenos feixes vasculares (LIESE, 1998; GHAVAMI, 2005; GHAVAMI, 2008; LIESE e TANG, 2015). De acordo com García (2018), cerca de 40-70% das fibras se encontram na parte externa, enquanto os outros 15-30% se distribuem no interior. Nas áreas dos nós pode-se notar uma diminuição na quantidade de fibras quando comparada com os internós, havendo nos diafragmas uma quantidade ainda menor. Essa característica compromete o comportamento mecânico dos colmos próximo aos nós, de forma que quando submetidos a esforços de tração axial a ocorrência de ruptura torna-se mais susceptível em tal região (GHAVAMI e MARINHO, 2005; CARBONARI *et al.*, 2017).

Liese e Tang (2015) informam que os conteúdos de fibra são maiores para bambus de regiões secas e com declive, o que reflete em maior densidade e melhores propriedades mecânicas do material. O vegetal atinge o ápice de sua resistência mecânica entre os três e os sete anos, isto é, período de sua vida útil antes que inicie a secar na touceira (PEREIRA e BERALDO, 2008). Cabe ressaltar que o bambu é um material ortotrópico, ou seja, apresenta propriedades diferentes a depender da direção considerada (GHAVAMI, 2008). Ghavami, Barbosa e Moreira (2017), destacam que o fato de as fibras do bambu serem orientadas paralelamente ao eixo do colmo, implica em uma resistência à tração maior do que a compressão. Tal fato, constatado em ensaios, mostra que a resistência aos esforços de tração pode atingir valores superiores aos de compressão em cerca de 30%.

De acordo com Janssen (2000), a propriedade física mais influente sobre o desempenho

mecânico dos colmos de bambu é a sua massa específica aparente (densidade de massa) que, entre outros fatores, depende do local de crescimento, da espécie e da sua posição no colmo. Segundo Liese (1998), os bambus apresentam valores de densidade de massa entre $0,5 \text{ g/cm}^3$ e $0,9 \text{ g/cm}^3$, a depender da espécie e do tipo de rizoma. Trata-se de uma propriedade que varia principalmente com a estrutura anatômica do colmo, como a quantidade e a distribuição dos feixes de fibras entorno dos vasos, além do diâmetro da fibra e espessura das paredes celulares (LIESE, 1998; HIDALGO-LÓPEZ, 2003). Transversalmente ao colmo, nota-se um aumento da massa específica aparente no sentido da parede interna para a externa. Já longitudinalmente, o aumento ocorre da base em direção ao topo.

2.2 Emprego

O início da apropriação do bambu pelo homem se deu na região da Ásia, notoriamente em território chinês. Com efeito, conforme abordado por Hidalgo-López (1974), um dos primeiros ideogramas chineses, denominado CHU, representava o bambu, sendo o desenho formado por dois talos, com seus ramos e folhas (figura 01). Entre as regiões que mais utilizam o bambu como material construtivo estão a Índia e a Colômbia (DENITTIS, 2019).

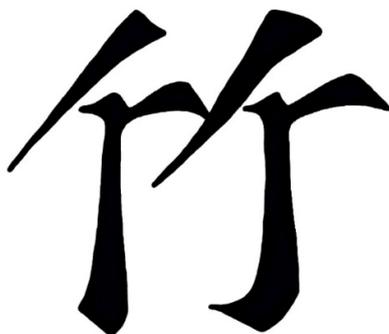


Figura 1 - Ideograma chinês CHU.
Fonte: Hidalgo-López (1974).

O abundante desenvolvimento em regiões de clima tropical faz do bambu uma alternativa de baixo custo e de grande eficiência para finalidades habitacionais em países da América Latina, África e Ásia (GHAVAMI, 2005). Na engenharia, são utilizadas, predominantemente, as espécies *Guadua angustifolia*, *Dendrocalamus giganteus* e *Phyllostachys pubescens*. Entretanto, a grande heterogeneidade inerente ao bambu, traz dificuldades para sua padronização, uma vez

que, devido a sua natureza, o mesmo não pode ser considerado único, como, por exemplo, no caso do aço (UBOLSOOK e THEPA, 2011).

Entre algumas das construções que se destacam pelo uso do bambu como elemento principal, estão: Catedral Alternativa Nuestra Señora de la Pobreza (Colômbia), Green School e Green Village (Indonésia), ponte para tráfego de veículos na província de Hunan (China) e quadra esportiva na escola Panyaden International School (Tailândia). No Brasil, apesar de haver um baixo incentivo e investimento ao uso do bambu estrutural, existem algumas construções de pequeno porte que se caracterizam pelo emprego de tal material, como é o caso do hostel Universo Pol Bamboo Hostel (Morro de São Paulo - BA) e o Loft Bambu na Villa Se7e (Trancoso - BA).

Além da aplicação direta como elemento estrutural, o bambu pode ser incorporado na construção civil em diferentes maneiras. Um exemplo é a utilização do biokreto, que consiste em uma combinação entre a pasta de cimento e partículas vegetais, provenientes do bambu moído ou até mesmo de outras fibras, como casca de arroz (PEREIRA e BERVALDO, 2008; PADOVAN, 2010). Outra finalidade de uso do material consiste na produção de elementos auxiliares para a construção de edifícios, como andaimes que podem ser feitos inteiramente de bambu (SALGADO NETO, 2018).

Um material promissor, conforme ressaltado por Pereira e Beraldo (2008), consiste no Bambu Laminado Colado (BLC), que, em certos casos, pode vir a substituir o uso das ripas de madeira. Na China, o BLC já é empregado em escala industrial para produtos como: pisos, forros, lambris, móveis, laminados para assoalhos, entre outros (PEREIRA e BERVALDO, 2008). Sua fabricação se dá, em linhas gerais, por meio da superposição de lâminas de bambu, coladas com adesivo e submetidas à prensa (REGHIN FILHO; CALLEFI; MIOTTO, 2017). Apesar de sua grande aplicabilidade, ainda não se tem consolidada uma padronização para realização de testes com o material, em âmbito nacional.

O bambu abrange ainda outras formas de aplicações, para além da área da engenharia: uso de brotos em composições culinárias, trabalhos de artesanato, produtos ortopédicos, cabos de ferramentas, produção de móveis, instrumentos para artes marciais, aspectos paisagísticos, entre outras possibilidades (PEREIRA e BERVALDO, 2008; HOSSAIN; ISLAM; NUMAN, 2015; NIRALA; AMBASTA; KUMARI, 2017). Pereira e Beraldo (2008, p. 210) destacam o uso do bambu em processos terapêuticos e pedagógicos, nomeadamente a Eutonia: “Ao tocar, aflorar,

roçar e percutir, o bambu se destaca como objeto transicional (interface, facilitador) entre mão, osso e pele.”.

Conforme retratado por Shriya Thakkar (2017), o bambu é empregado na Índia como um instrumento de resistência, incorporado ao movimento denominado Gulab Gang. Também conhecido por “Gangue Rosa Choque”, trata-se de um grupo de mulheres que ao vestirem o sari rosa-choque e ao empregarem bastões de bambu (lathi) como instrumento de defesa, constituem-se como uma força de oposição às injustiças e violência doméstica em território indiano.

2.3 Normatização

Iniciou-se no Brasil, em 2017, um projeto de elaboração de norma destinado às estruturas de bambu, com base na ISO 22156-Bamboo Structural Design (ISO, 2004), e encabeçado pela Comissão de Estudo de Estruturas de Bambu (CE-002:126.012) do Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002). Atualmente, de acordo com informação da Rede Brasileira do Bambu, o Projeto de Norma para Estruturas de Bambu ABNT NBR 16828 (parte 1 e 2) já se encontra disponível para consulta pública, desde sua publicação em 21 de dezembro de 2020.

A referida norma, que representa um grande avanço no campo da engenharia e bioconstrução, é subdividida em duas partes. A primeira é destinada aos critérios de projeto para estruturas de bambu, enquanto a segunda especifica os procedimentos para determinação das suas propriedades físicas e mecânicas. Apesar deste marco, é necessário reconhecer os esforços que ainda devem ser envidados em prol de um maior alcance e aceitação do material pela sociedade, em âmbito nacional.

Pelo fato de a norma ser muito nova, são utilizadas, frequentemente, para realização dos testes e dimensionamentos empregando o bambu, normas técnicas de referência à madeira, como a norma internacional ISO/TC165 (Timber Structures), havendo também diretrizes estabelecidas pela INBAR (*International Network of Bamboo and Ratan*). Ghavami, Barbosa e Moreira (2017) informam que recentemente foram divulgados na Colômbia dados sobre a espécie *Guadua angustifolia*, incluindo um capítulo destinado aos projetos estruturais com *Guadua* na norma técnica de madeira. Entretanto, segundo os autores, mesmo sendo novo, o documento aplica o método das tensões admissíveis.

Em países como Equador, Peru, Colômbia, Índia e China já se encontram consolidadas

normas específicas voltadas para estruturas de bambu. Entre as normas utilizadas para construção e realização de ensaios com o bambu em países da América Latina, pode-se citar a regulamentação equatoriana INEN 42: *Bamboo Caña Guadua (bamboo cane Guadua)* (INEN, 1976) e as normas NTC 5407: *Uniones de Estructuras con Guadua angustifolia Kunth* (ICONTEC, 2006) e NTC 5525: *Métodos de Ensayo para Determinar las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth* (ICONTEC, 2007), aplicadas na Colômbia (GATÓO et al., 2014).

3. VIABILIDADE SOCIOECONÔMICA

Tendo em vista seus diversos modos de uso, o cultivo do bambu pode contribuir para movimentação da microeconomia, incentivando os pequenos e médios produtores e impulsionando novas formas de mão de obra. Em países do continente africano, como a África do Sul, e países do continente asiático, como a China, o cultivo e emprego desse material já faz parte do dia a dia de muitos trabalhadores rurais, desempenhando um importante papel para as comunidades locais (AKWADA e AKINLABI, 2016).

Conforme destacado por Costa (2014), o bambu configura-se como um vetor de desenvolvimento social, uma vez que apresenta um potencial de mobilização dos agentes da comunidade entre as mais diversas atividades: produção de alimentos, construção civil com materiais não convencionais, fabricação de utensílios, entre outras. Este aspecto pode ser percebido desde o cultivo e manejo da planta por produtores locais até a criação de espaços para ensinamento e propagação do uso do bambu, como pela implementação de Bambuzerias, as quais tiveram início com o artesão “Bambuzeiro” Lucio Ventania, criador da primeira Bambuzeria (Cruzeiro do Sul) em Belo Horizonte - MG.

Programas como Bamcrus, também desenvolvido por Lúcio Ventania, em que são proporcionadas oficinas pedagógicas e cursos de capacitação, reforçam o papel do bambu para integração social, indo além do seu aspecto comercial (COSTA, 2014). A influência do bambu no cenário nacional se fez formalmente reconhecida por meio da criação da Lei 12.484/2011, com a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu - PNMCB. No entanto, apesar da importância da lei para o incentivo/validação à pesquisa e as produções técnicas relacionadas ao

bambu, Costa (2014) informa que houve um baixo impacto e eficiência no campo prático.

No que tange a viabilidade econômica, a escolha do bambu como material construtivo torna as habitações mais acessíveis para a população de baixa renda, sobretudo, se aliado a programas de suporte fomentados pelo poder público. Evidencia-se aqui um programa habitacional para as camadas de baixa renda feito pela corporação Hogar de Cristo, no Equador, que desenvolve projetos de pequeno custo utilizando o bambu *Guadua*. De acordo com Benavides (2012), trata-se de uma proposta de habitação temporária para famílias que podem pagar até 10 dólares americanos por mês, sendo produzidas, através de um sistema industrializado, cerca de 36 casas emergenciais por dia.

Diversos estudos realizados sobre a aplicação do bambu em obras de construção civil apontam para uma redução dos custos totais (GHAVAMI, 1988; MISHRA, 1988; SILVA, 2011). Guedes Pinto, Rocha e Bastos (2018) informam que, quando comparado a estruturas convencionais, o bambu pode diminuir em até 50% os custos da construção, a depender do tipo de material empregado.

Em uma análise comparativa referente aos respectivos custos de aquisição do bambu e do aço, observou-se que, para uma mesma solicitação mecânica, como viga, o preço do bambu tratado seria cerca de 2,3 vezes menor que o do aço. Esta análise foi feita a partir de resultados obtidos pelo software ANSYS para um modelo de viga simplificado correspondente a um colmo de bambu com 6 m de comprimento e submetido a carga distribuída de 3,2 KN/m. Um modelo análogo foi criado para tubos de aço com dimensões comercializadas.

Para cotação do bambu, foi pesquisada a plataforma Bambu Marketplace, enquanto para precificação do aço, utilizou-se como referência os valores disponibilizados pela Açotel Indústria e Comércio, consultados no dia 17 de fevereiro de 2021. Ambos os fornecedores estão localizados no estado do Rio de Janeiro. A cotação para tubos METALON de espessura 3,00 mm, foi de R\$9,02/kg acrescido de 5% IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados), sendo o seu comprimento de 6 metros.

De acordo com os ensaios realizados no software, concluiu-se que seria necessário, para resistir à mesma carga a que o bambu foi submetido, um tubo de aço com diâmetro de 76,20 mm e espessura da parede de 3,00 mm. Através de consulta à tabela fornecida pela loja, identificou-se que tubos com as dimensões

supracitadas possuem peso de 32,49 kg. Fazendo o cálculo, a preço de contribuinte de ICMS, pôde-se constatar que cada tubo custaria R\$307,71.

Por meio da plataforma Bambu Marketplace, identificou-se um fornecedor no Rio de Janeiro, cujo produto consiste em um conjunto de 12 colmos de bambu, tratado por injeção de octaborato, da espécie *Guadua angustifolia*. Os colmos possuem 9 a 13 cm de diâmetro e 7 metros de comprimento. A quantidade mínima de venda é de cinco unidades (12 varas por unidade), custando cada uma delas R\$1.590,00. Para análise dos preços é necessário calcular o custo de 60 tubos de aço (R\$18.462,77) e compará-lo com o do bambu (R\$7.950,00). Embora o estudo tenha sido feito para um caso bastante simples, o intuito foi de prover alguma referência de comparação em termos de custos entre o uso do bambu e do aço, considerando as ofertas de mercado no momento e na região. O custo com o aço foi de cerca de 2,3 vezes maior do que com o bambu.

Com o preço de aquisição superior ao dobro do obtido para o bambu, o aço, além de onerar as construções, gera, durante sua cadeia produtiva, uma significativa quantidade de resíduos sólidos no meio, bem como é responsável por uma grande emissão de gases poluentes na atmosfera. Todavia, é necessário reconhecer que há uma complexidade de fatores incidentes sobre o custo total das construções, como, por exemplo, a mão-de-obra empregada e a técnica utilizada, que extrapolam o simples custo de obtenção do material.

4. PRESERVAÇÃO AMBIENTAL

Além das vantagens abordadas anteriormente, o bambu se destaca como um insumo para construção civil de baixo impacto ambiental. No livro *Bamboo in Building Structures*, Janssen (1981) realiza uma análise comparativa da demanda energética para produção de diferentes materiais de construção (concreto, aço, madeira e bambu), a partir da qual é possível observar que para uso do bambu, a razão energia por unidade de tensão chega a ser 50 vezes inferior a do aço (tabela 01). Se alinhado a um sistema com viabilidade logística, isto é, com o local de origem (fornecimento do material) próximo ao local de destino, o bambu pode desempenhar um importante papel na redução do consumo energético do setor da construção civil.

As florestas de bambu desempenham ainda uma importante contribuição para o sequestro de gás carbono da atmosfera.

Tabela 1 - Análise comparativa da demanda energética para produção do concreto, aço, madeira e bambu, com suas respectivas tensões quando utilizadas.

Fonte: autores.

Material (1)	Energia para Produção MJ/kg (2)	Peso Específico kg/m ³ (3)	Energia para Produção MJ/m ³ (4)	Tensão Quando em Uso N/mm ² (5)	Razão energia por unidade de tensão (4)/(5)
Concreto	0.8	2400	1920	8	240
Aço	30	7800	234000	160	1500
Madeira	1.	600	600	7.5	80
Bambu	0.5	600	300	10	30

Segundo Torres, Segarra e Bragança (2019), considerando-se um tempo de 6 anos de crescimento para a espécie *Guadua angustifolia*, pode-se observar uma taxa de fixação de carbono aproximadamente igual a 54,3 t, sendo 19,9% desta fixação atribuída ao rizoma e 80,1% a sua parte aérea.

Os autores informam também os valores da biomassa pela área, para outras espécies de bambu: 121,51 t•ha⁻¹ (*Bambusa cacharensis*, *Bambusa vulgaris* e *Bambusa balcooa*), 137,9 t•ha⁻¹ (*Phyllostachys pubescens*), 143 t•ha⁻¹ (*Bambusa blumeana*), 162 t•ha⁻¹ (*Chusquea culeou*) e 135,8 t•ha⁻¹ (*Phyllostachys bambusoides*).

Um outro aspecto relevante corresponde à capacidade de reprodução deste vegetal, que muitas vezes se regenera simplesmente a partir do rizoma, sem necessidade de realizar um novo plantio. Desta forma, o bambu pode crescer em locais que estão inapropriados para determinados cultivos, contribuindo para a fertilização do solo e a construção de sistemas agrícolas e agroflorestais variados, sejam eles de pequeno ou grande porte (TORRES, SEGARRA e BRAGANÇA, 2019).

O bambu, além de ser uma fonte renovável, é reconhecido por haver uma acelerada taxa de crescimento bem como uma rápida recuperação após o corte, o que o torna uma opção adequada quando se visa o reflorestamento de áreas degradadas. De acordo com o professor Mario Guimarães Junior (*apud* SANTI, 2015, p. 27), o bambu é capaz de suportar até 100 cortes sem precisar de plantio, indicando o seu potencial como uma fonte ambientalmente responsável para atender as atuais demandas, sejam elas na construção ou em outros setores da cadeia produtiva.

5. PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

A grande variedade de espécies de bambu reflete em uma significativa heterogeneidade das propriedades físicas e mecânicas. Portanto, para que se tenha conhecimento das características do material é imprescindível a realização de ensaios, que por sua vez, podem ser feitos com o colmo em sua forma natural (tronco-cônica), usinado (geralmente seção retangular) ou laminado.

Para ensaios executados com amostras cilíndricas é indicado como referência os projetos das normas ISO N313 (*Bamboo Structural Design*), ISO 314 (*Physical and Mechanical Properties*) e ISO 315 (*Testing Material*). Nos casos de bambu laminado são comumente utilizadas como referência as normas pré-estabelecidas para madeira, fazendo as devidas adaptações (PEREIRA e BERHALDO, 2008).

Conforme destacado por Janssen (2000), o bambu possui a capacidade de absorver uma significativa parcela de energia devido a sua alta flexibilidade e resiliência. Dessa maneira, o material se deforma aliviando as tensões existentes. Tal comportamento torna a utilização do bambu adequada em áreas sujeitas a abalos sísmicos, apresentando uma boa performance quando submetido a cargas dinâmicas (JANSSEN, 1985).

Pereira e Beraldo (2008) evidenciam as potencialidades do bambu: em apenas dois anos e meio após brotar no solo, o colmo já apresenta resistência mecânica estrutural. Somado a isso, sua forma tubular, acabada para uso, estruturalmente estável, de baixa densidade, com geometria circular oca e otimizada em termos da razão resistência mecânica/massa específica, diferenciam o bambu dos demais materiais vegetais estruturais (GHAVAMI 1989;

MOREIRA e GHAVAMI, 1995, apud PEREIRA e BERALDO 2008).

Em ensaios realizados no Laboratório de Estruturas e Materiais do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, Ghavami e Marinho (2005) obtiveram resultados para resistência, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson para tração e compressão, além da tensão de cisalhamento para o bambu *Guadua angustifolia* (região basal, centro e topo em colmos com e sem nó). Os dados indicam, para colmos de três anos, uma resistência média à tração equivalente a 86,96 MPa, resistência à compressão de 29,48 MPa e resistência ao cisalhamento de 2,017 MPa.

Como pode-se analisar na pesquisa desenvolvida por Ghavami e Marinho (2005) e em outros estudos (LIESE, 1985; SAKARAY, TOGATI e REDDY, 2012; SHU *et al.*, 2020), a resistência aos esforços cortantes no bambu é muito reduzida quando comparada à resistência aos esforços normais. A sua baixa resistência ao cisalhamento, muitas vezes, traz prejuízos ao desempenho das conexões, visto que nessas áreas, frequentemente, ocorrem concentrações de tensões.

Ao se analisar a relação resistência versus peso específico, o bambu, comparado aos materiais convencionalmente utilizados na engenharia, apresenta uma significativa vantagem. Conforme indicada na tabela abaixo (tabela 2), a razão R entre a resistência à tração (σ_t) do bambu e seu peso específico (γ) chega a ser 2,73 vezes superior a razão obtida para o aço CA50. Esta característica é uma grande aliada para as construções, uma vez que permite a criação de sistemas mais leves e resistentes.

6. MANEJO

6.1. Conservação

Apesar do potencial uso do bambu em edificações, é necessária a tomada de precauções e a adoção de procedimentos a fim de conservar as propriedades do material. De acordo com Ghavami (2008), a durabilidade dos colmos depende de fatores como a espécie, idade, tratamento e cura. Para sua preservação é importante que o bambu seja submetido a um tratamento capaz de evitar ataques de insetos e fungos, seguido de uma correta secagem (ao ar ou em estufa) e armazenamento, permitindo, assim, um aumento na vida útil dos colmos.

A gramínea é comumente alvo de ataques do inseto *Dinoderus minutus*, popularmente conhecido como caruncho, que, atraído pelo

amido interno, provoca deterioração dos colmos (LIESE, 1998). Por se tratar de um material biológico, é importante que o bambu seja resguardado por meio de projetos que o defendam das intempéries, como, por exemplo, a construção de beirais e a minimização do contato da estrutura com o solo (PEREIRA e BERALDO, 2008). Além de práticas construtivas apropriadas, é necessário que os colmos sejam submetidos a um devido tratamento.

Para a maioria das espécies, a parte do topo do colmo apresenta maior durabilidade do que a base e o meio. A parte interna e macia das paredes é atacada mais rapidamente pelos insetos do que a externa, para o caso de o colmo ter idade inferior a um ano. Ademais, quando dividido em ripas, por exemplo, o bambu torna-se mais vulnerável a deterioração do que quando preservada sua geometria inicial. Vale ressaltar que o bambu com maior grau de durabilidade natural utilizado em construções corresponde ao *Guadua angustifolia* Kunth, desde que cortado em sua fase já madura, isto é, a partir de 3 anos (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).

Segundo Hidalgo-López (2003) os métodos para tratamento do bambu podem ser subdivididos em físicos e químicos. O tratamento físico, também conhecido como cura, visa remover, destruir ou reduzir o amido presente no colmo e, assim, minimizar o ataque dos insetos *Dinoderus minutus* (caruncho). Trata-se de um método de baixo custo tradicionalmente utilizado em áreas rurais e povoados, principalmente nos países asiáticos. Entretanto, não garante proteção ao ataque de cupins e fungos, havendo pouco conhecimento sobre a real eficiência do método.

Entre os procedimentos de tratamento físico, podem ser empregadas a maturação ou cura no local da colheita, cura por imersão, por fogo e por fumaça. Já o químico, que pode ser subdividido entre os tratamentos temporários e os de longa duração, dispõe de métodos oleosos, oleossolúveis, hidrossolúveis, imersão em solução de sais hidrossolúveis ou substituição de seiva por sais hidrossolúveis (PEREIRA e BERALDO, 2008).

É importante atentar-se, porém, ao nível de poluição e dano ambiental atrelado à aplicação dos métodos químicos, tendo em vista que muitas das substâncias usadas apresentam um nível considerável de toxicidade. Tais agressões ao ambiente opõem-se ao caráter ecológico do uso do bambu. Sendo assim, as formas de tratamento devem ser pensadas como parte relevante na elaboração de um dado projeto.

Tabela 2 - A Relação entre a resistência à tração e o peso específico de alguns materiais usados na construção civil.
Fonte: autores.

Material	Resistência à tração σ_t (MPa)	Peso Específico γ (N/mm ³ x10 ⁻³)	$R = \frac{\sigma_t}{\gamma} \times 10^2$	$\frac{R}{R_{aço}}$
Aço	500	7.83	0.64	1.00
Alumínio	304	2.70	1.13	1.76
Ferro Gusa	281	7.20	0.39	0.61
Bambu	140	0.80	1.75	2.73

6.2. Conexões

Para estruturas constituídas inteira ou parcialmente por bambu, um outro ponto que requer cautela corresponde à realização das ligações. A fim de garantir a estabilidade estrutural, é de suma importância que todos os elementos componentes estejam conectados com rigidez adequada para que resistam ao carregamento mínimo do projeto previsto por norma. Conforme abordado por França (2018), uma boa conexão deve manter uma continuidade estrutural entre os colmos, isto é, garantir que os esforços sejam transmitidos de forma segura, respeitando a norma de edificações, e com as deformações sob controle, para se obter o equilíbrio.

Janssen (2000) ressalta, todavia, que a realização de juntas utilizando bambu traz certas dificuldades, uma vez que esse apresenta uma estrutura oca, geometricamente cônica, não perfeitamente circular e com nós a distâncias variáveis. Tais restrições devem ser levadas em consideração ao se projetar as conexões com elementos de bambu, pois nas regiões de ligação podem originar pontos de fraqueza ou deformação, levando em muitos casos a uma perda da própria força do colmo.

É necessário que todas as restrições internas e externas encontradas durante o processo de projeção sejam superadas. As restrições internas são aquelas relacionadas às propriedades do material e a sua forma, enquanto as externas referem-se ao dimensionamento, à viabilidade econômica, à importância de simplicidade das técnicas construtivas, à criação de sistemas modulares, à durabilidade e à maximização do uso do bambu (ARCE, 1993).

Quanto às formas de ligação entre os elementos da estrutura, podem ser observadas diversas técnicas e métodos, que vão desde o uso de cordas até a aplicação de parafusos de aço e braçadeiras. Uma técnica que merece destaque, consiste nas conexões desenvolvidas pelo arquiteto Símon Vélez, em que é injetado concreto nas cavidades dos colmos a fim de

aumentar a rigidez do nó. Tal método é também aplicado quando se deseja ligar os colmos à sua fundação, de maneira a isolar o bambu do terreno (FRANÇA, 2018).

Já as ligações em corda podem ser realizadas atravessando-a ao interior de furos feitos no colmo ou então, simplesmente, ligando-a à superfície exterior do colmo sem executar nenhum furo, uma vez que os furos, dependendo de como forem feitos, podem enfraquecer o material (FRANÇA, 2018). Indicado principalmente para estruturas leves, as ligações em corda apresentam como grande vantagem a flexibilidade que é proporcionada. Entretanto, trata-se de um tipo de conexão que demanda mais tempo para execução e requer mão de obra especializada para sua realização. Para amarrações com cordas de fibras naturais é necessário também que as mesmas sejam substituídas de tempos em tempos, para o caso de serem um elemento exposto na estrutura (VAHANVATI, 2015). Podem ser empregadas fibras vegetais, tais como o próprio bambu, coco, cipó, sisal ou algodão (SEIXAS *et al.*, 2018)

Com o objetivo de prender, de maneira firme, fios de aço em torno de peças de bambu e de madeira roliça, foi desenvolvida pela Universidade Técnica de Delft a “ferramenta de amarração de fio Delft”. De acordo com Huybers (1999), a ferramenta é operada manualmente, pesa em torno de 2,8 kg e é utilizada para atar fios de aço galvanizados com 2 a 5 mm de diâmetro. O equipamento consiste de uma morsa responsável por prender o fio, que é manipulada por meio de uma alça fixa e outra articulada. À medida em que as alças se abrem e fecham, os fios de aço apertam-se à estrutura. Por fim, as pontas dos fios são torcidas e cortadas a um comprimento de aproximadamente 30 mm, para garantir maior segurança. Pode-se considerar, resumidamente, que o procedimento de amarração é feito em uma primeira etapa correspondente ao estiramento do fio e em uma segunda etapa que consiste na fixação do fio através da torção de suas pontas unidas (HUYBERS, 1999).

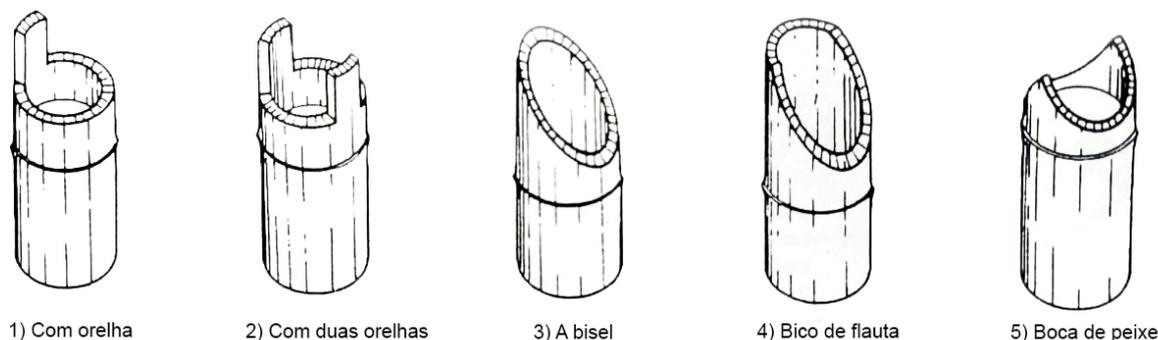


Figura 2 - Entalhes para uniões das estruturas de bambu.
Fonte: Adaptado de Hidalgo-López (2003).

Ademais, há a possibilidade do emprego de placas e chapas de aço ou de madeira compensada com a finalidade de ligar os colmos em um mesmo plano, sendo um recurso muito útil para construção de pórticos e de outras estruturas semelhantes. As chapas apresentam, geralmente, forma em L e são parafusadas ao bambu para criar conexões com 90°. Apesar de sua grande utilidade para estruturas bidimensionais, há certa dificuldade em se encontrar no mercado disponibilidade de chapas de aço para uso no bambu, precisando muitas vezes serem customizadas (VAHANVATI, 2015).

Para realização das conexões supracitadas, devem ser feitos cortes específicos na seção de ligação do colmo para compatibilização da geometria com as demandas de projeto. Os cortes mais comumente utilizados são: conexão tipo boca de peixe, corte reto e bico de flauta. Além desses, há também outros entalhes que visam facilitar o encaixe das peças de bambu, conforme ilustrados a seguir (figura 02).

De acordo com Denittis (2019), os cortes boca de peixe e bico de flauta permitem um melhor aproveitamento espacial da estrutura, uma vez que apresentam a possibilidade de unir os elementos sob um mesmo plano. Já as conexões a corte reto, apesar de sua facilidade construtiva, possuem certa desvantagem decorrente da necessidade de união dos elementos entre eixos transversais, isto é, sob planos distintos.

Empregado em ligações para diversos tipos de materiais, como para tubos de aço, o corte boca-de-peixe consiste na forma pioneira de entalhe em estruturas tubulares. A relativa simplicidade de sua geometria permite que instrumentos de fácil acesso possam ser usados para a realização do corte, como, por exemplo, serrote ou facão (PADOVAN, 2010). Já a utilização do encaixe “bico de flauta” é observada, principalmente,

para finalidades de contraventamento em painéis, com uso em diagonais.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo pretendeu trazer alguns dos diferentes aspectos e possibilidades de uso do bambu, tanto dentro da engenharia (elemento estrutural ou reforço através da combinação com o concreto), quanto nas demais áreas: paisagismo, culinária, processos terapêuticos, indústria moveleira, entre outras. Seu caráter ambientalmente amigável e sua abundante disponibilidade na natureza, aliada ao baixo custo de produção, fazem do bambu um material promissor para aplicação no setor da construção civil, capaz de substituir, em alguns casos, os materiais convencionalmente utilizados, podendo ser inserido especialmente em projetos de construção com enfoque socioambiental.

O bambu, além de apresentar condições favoráveis de desenvolvimento para as características geoclimáticas do território brasileiro, possui uma taxa de crescimento elevada para um curto espaço de tempo, o que reflete em alta produtividade. Este fator pode permitir que comunidades rurais desfrutem do material como um complemento à fonte de renda, contribuindo para ressignificação dos recursos locais e das relações socioespaciais.

Todavia, existem obstáculos em relação à implementação do bambu na engenharia. Tais barreiras estão atreladas, principalmente, aos mecanismos de mercado do setor da construção civil, bem como à ausência de uma efetiva aceitação do material pelos agentes da sociedade. Apesar desses entraves, é preciso reconhecer os avanços ocorridos em território nacional, que incluem desde o protagonismo das agências de fomento à pesquisa, a criação de normas (ABNT NBR 16828), os grupos de estudo,

pesquisa e difusão de conhecimento (EBIOBAMBU; CERBAMBU RAVENA - Centro de Referência do Bambu e das Tecnologias Sociais), até a implementação de projetos estruturais com aplicação do material (por exemplo, projetos realizados pela empresa Bambu Carbono Zero).

É importante que sejam desenvolvidos programas de incentivo pelo poder público para o uso, em larga escala, do bambu na área da engenharia, bem como se deve buscar a padronização dos procedimentos de transformação da planta em insumo de construção, de modo a assegurar sua qualidade. Por meio de avanços gradativos, que já vêm ocorrendo, torna-se mais tangível a promoção de mudanças no contexto da engenharia civil, permitindo a inserção de materiais não convencionais, tal qual o bambu, como elemento constituinte das edificações

REFERÊNCIAS

- AKWADA, D. R.; AKINLABI, E. T. Economic, social and environmental assessment of bamboo for infrastructure development. In: **International Conference on Infrastructure Development in Africa**. 2016, 15 p.
- ALMEIDA, J. G. de. Potencialidades do Bambu. **Sustentabilidade em Debate**. Brasília, v. 7, dez. 2016, n. 3, p. 178-195.
- ARANDA JÚNIOR, M. L. **Elaboração de cartilha para montagem de cobertura em bambu para moradias rurais**. Dissertação de Mestrado. Campo Grande: Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade. 2014, 146 p.
- ARCE, O. A. **Fundamentals of the design of bamboo structures**. Tese de Doutorado. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven. 1993, 282 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16828: Estruturas de bambu**. Rio de Janeiro, 2020.
- BENAVIDES, A. S. J. (2012). **Proposta de sistema construtivo para habitação de interesse social com bambu Guadua: um estudo de caso no Equador**. 144 f. Dissertação de Mestrado - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- CANAVAN, S.; RICHARDSON, D. M.; VISSER, V.; LE ROUX, J. J.; VORONTSOVA, M. S.; WILSON, J. R. U. **The global distribution of bamboos: assessing correlates of introduction and invasion**. *AoB PLANTS*, 2017, 18 p.
- CARBONARI, G.; SILVA JUNIOR, N. M. da; PEDROSA, N. H.; ABE, C. H.; SCHOLTZ, M. F.; ACOSTA, C. C. V.; CARBONARI, L. T. **Bambu - O aço vegetal**. *Mix Sustentável*, 2017, v.3, n.1, 9 p.
- COSTA, R. De S. M. Da. **O bambu: potencialidades técnicas e sociais e a política de incentivo ao manejo sustentado**. Dissertação de Mestrado. Niterói: Universidade Federal Fluminense. Curso de Administração. 2014, 144 p.
- DE FLANDER, K.; ROVERS, R. One laminated bamboo-frame house per hectare per year. **Construction and Building Materials**. 2008, 9 p.
- DELGADO, P. S. **O bambu como material eco-eficiente: caracterização e estudos exploratórios de aplicações**. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT, 2011, 81 p.
- DENITTIS, M. **Analisi sperimentale e numerica di un telaio in Guadua Angustifolia Kunth caricato orizzontalmente: il bambù come possibile alternativa ecosostenibile ai tradizionali materiali da costruzione**. Dissertação de Mestrado. Bolonha: Università di Bologna. 2018/2019, 161 p.
- FILGUEIRAS, T.; GONÇALVES, A. P. S. A checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil (Poaceae). *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society*, v.18, n.1, 2004.
- FONSECA, F. K. P. da. **Produção de mudas de bambu Guadua angustifolia Kunth (Poaceae) por propagação vegetativa**. Dissertação de Mestrado. Rio Largo: UFAL. 2007, 71 p.
- FRANÇA, J. J. L. **Costruzioni contemporanee in bambù: Le connessioni dei culmi tramite corda**. Dissertação de Mestrado. Turim: Politecnico di Torino. 2018, 216 p.
- GARCÍA, G. O. **El bambú como agente de cambio: La actualización de su aprovechamiento em la región de Bengala**. Trabajo fin di grado. Madrid: Universidade Politécnica de Madrid, 2017-2018, 102 p.
- GATOÓ A.; SHARMA B.; BOCK M.; MULLIGAN H.; RAMAGE M. Sustainable structures: bamboo standards and building codes. *Proc ICE Eng Sustainability*, 2014, v.167, n.5, p. 189-196.
- GHAVAMI, K. Application of Bamboo as a Low-cost Construction Material. **Proceedings of the International Bamboo Workshop**, Cochim, Índia, Nov 14-18, 1988, p.270-279.

GHAVAMI, K. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. **Cement & Concrete Composites**, 2005, p. 637-649.

GHAVAMI, K. Bamboo: Low cost and energy saving construction materials. In: XIAO, Y.; INOUE, M.; PAUDEL, S. K. (eds). **Modern Bamboo Structures**. Londres: Taylor & Francis Group, 2008, p. 5-21.

GHAVAMI, K.; BARBOSA, N. P.; MOREIRA, L. E. Bambu como Material de Engenharia. In: FABRÍCIO, M. M.; BRITO, A. C.; VITTORINO, F. (orgs.). **Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Conforto Ambiental, Durabilidade e Pós-Ocupação**. Porto Alegre: ANTAC, 2017, p. 305-348.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Propriedades físicas Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2005, v.9, n.1, p.107-114.

GRECO, T. M. **Cultivo e Manejo: Bambu**. Florianópolis: Fazenda Ressacada - UFSC. 2010, 114 p.

GUEDES PINTO, J. L.; ROCHA, P. F. da; BASTOS, C. C. D. d'O. e; Construções com Bambu. **TEC-USU**, Rio de Janeiro, jul.- dez. 2018, v.1, n.1, p.1-32.

GUILHERME, D. de O.; RIBEIRO N. P.; CEREDA M. P. Cultivo, manejo e colheita do bambu. *Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia*. 1 ed. Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje, set. - out. 2017, p. 28-41.

HIDALGO-LÓPEZ, O. *Bambú, cultivo y aplicaciones em: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía*. Cáli: **Estudios Técnicos Colombianos**, 1974, 318 p.

HIDALGO-LÓPEZ, O.; **Bamboo: the gift of the gods**. Bogotá: D'Vinni Ltda, 2003, 553 p.

HOSSAIN, M. F.; ISLAM, M. A.; NUMAN, S. M. Multipurpose Uses of Bamboo Plants: A Review. **International Research Journal of Biological Sciences**, 2015, v.4, p.57-60.

HUANG, L.; KRIGSVOLL, G.; JOHANSEN, F.; LIU, Y.; ZHANG, X. Carbon emission of global construction sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.81, part 2, 2018, p. 1906-1916.

HUYBERS, P. **Manual on the Delft Wire Lacing Tool**. Delft: Delft University of Technology. 1999, 25 p.

INBAR Technical Report Nº 8 Volume 4. *Bamboo, People and Environment*. In: Vth International

Bamboo Workshop and the IV International Bamboo Congress. 1995, 158 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TC 165: Timber structures**. 1976.

JANSSEN, J. J. A. **Bamboo in building structures**. Tese de Doutorado. Technische Hogeschool Eindhoven. 1981, 240 p.

JANSSEN, J. J. A. **Design and Building with Bamboo**. Technical Report N. 20, Editor: Arun Kumar. Eindhoven: Technical University of Eindhoven. 2000, 211 p.

JANSSEN, J. J. A. The Mechanical Properties of Bamboo. RAO, A. N.; DHANARAJAN, G.; SASTRY, C. B. (eds.) **Recent Research on Bamboo**. Hancheu, 1985, p.250-256.

Lei nº 12.484, de 8 de setembro de 2011. **Dispõe sobre a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu e dá outras providências**. Brasília, 2011.

LIESE, W. Anatomy and Properties of Bamboo. RAO, A. N.; DHANARAJAN, G.; SASTRY, C. B. (eds.) **Recent Research on Bamboo**. Hancheu, 1985, p.196-208.

LIESE, W. The anatomy of bamboo culms. Beijing: **INBAR Technical Report 18**. 1998, p.130-135.

LIESE, W.; TANG, T. K. H. Properties of the Bamboo Culm. In: LIESE, W.; KÖHL, M. (eds). *Bamboo: The Plant and its Uses*. Springer International Publishing Switzerland, 2015, p.227-256.

MANANDHAR, R.; KIM, Jin-Hee; KIM, Jun-Tae. Environmental, social and economic sustainability of bamboo and bamboo-based construction materials in buildings. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, 2019, v.18, n.2, p.49-59.

MISHRA, N. N. Know-how of Bamboo House Construction. **Proceedings of the International Bamboo Workshop**, Cachim, Índia, Nov 14-18, 1988, p.242-249.

NIRALA, D. P.; AMBASTA, N.; KUMARI, P. A Review on Uses of Bamboo Including Ethno-Botanical Importance. **International Journal of Pure & Applied Bioscience**, 2017, p.515-523.

OLIVEIRA, T. F. C. S. **Sustentabilidade e Arquitetura: Uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil**. Dissertação de Mestrado. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2006, 136 p. Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado.

PADOVAN, R. B. **O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais**. Dissertação de Mestrado. Bauru: Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”. 2010, 184 p.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru - SP: Canal 6 Editora, 2008, 240 p.

RAZAFINDRATSITO, A. H. **Contribution a l'étude de l'utilisation du bambou dans les constructions biosourcées: cas de la nouvelle ville d'Arivonimamo**. Vontovorona: Université d'Antananarivo Ecole Supérieure Polytechnique, 2018.

REGHIN FILHO, J. R.; CALLEFI, M. H. B. M.; MIOTTO, J. L. Produção artesanal e sustentável de bambu laminado colado. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**. v. 05, n.º 35. (2017).

SAKARAY, H.; TOGATI, N. V. V. K.; REDDY, I. V. R. Investigation on properties of bamboo as reinforcing material in concrete. **International Journal of Engineering Research and Applications**, Jan-Fev 2012, v. 2, n. 1, p.77-83.

SALGADO NETO, F. de S. **Análise mecânica e microestrutural da interação do bambu com o concreto**. 119 f. Dissertação (Mestrado). Belém: Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2018, 119 p.

SANTI, T. Bambu para toda obra. **Revista O Papel**, abr. 2015, n.4, p.23-34.

SEIXAS, M.; MOREIRA, L. E.; BINA, J.; RIPPER, J. L. M. Design and analysis of a self-supporting bamboo roof structure applying flexible connections. **International Association for Shell and Spatial Structures (IASS)**. MUELLER C.; ADRIAENSSENS, S. (eds.) MIT, Boston, USA. July 16-20, 2018, 9 p.

SHU, B.; XIAO, Z.; HONG, L.; ZHANG, S.; LI, C.; FU, N.; LU, X. Review on the Application of Bamboo-Based Materials in Construction Engineering. **Journal of Renewable Materials**, 2020, v.8, n. 10, p.1215-1242.

SILVA, D. N. A. C. da. **A viabilidade técnica e econômica do uso do bambu: a utilização do “bambusa vulgaris” como entramado nas construções em taipa**. Dissertação de Mestrado. Maceió: Universidade Federal da Salvador, 2011, 223 p. Programa de Pós-Graduação em Gestão do Ambiente Construído.

TAM, C. P. T. Comportamiento estructural de la guadua angustifolia. **Uniones em guadua. Ingeniería e Investigación**, set. 2004, n.55, p.3-7.

THAKKAR, S. Art in every day resistance: a case study of the pink vigilantes of India. **Junctions: Graduate Journal of the Humanities**, 2017, v.3, n.1, p.8-17.

TORRES, B.; SEGARRA, M.; BRAGANÇA, L. El bambú como alternativa de construcción sostenible. **Extensionismo Innovación y Transferencia Tecnológica**. 2019 v.5, p.389-400.

UBOLSOOK, P.; THEPA, S. Structural Analysis of Bamboo Trusses Structure in Greenhouse. In: **2nd International Conference on Environmental Science and Technology IPCBEE vol.6** (2011).

VAHANVATI, M. The Challenge of connecting bamboo. In: **10th World Bamboo Congress**, Korea 2015, 11 p.

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4416-0458>

LUIZA SOUZA NEVES FRADE DA CRUZ (LSNFC) | Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Faculdade de Engenharia, Departamento de Estruturas. Correspondência para: R. Marquês de São Vicente, 225 - Gávea, Rio de Janeiro - RJ, 22541-041 | e-mail: luisa.neves.frade@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0788-262X>

MARCELO MIRANDA BARROS (MMB), Dr. | Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, Departamento de Estruturas | Correspondência para: Campus Universitário, Rua José Lourenço Kelmer, s/n, São Pedro, Juiz de Fora, MG, 36036-900 | e-mail: marcelo.barros@ufjf.br

COMO CITAR ESSE ARTIGO

CRUZ, Luisa Souza Frade da; BARROS, Marcelo Miranda. Bambu Estrutural: Possibilidades para uma Engenharia Sustentável. **MIX Sustentável**, v. 8, n. 2, p. 79-92, mai. 2022. ISSN-e: 24473073. Disponível em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>. DOI: <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n1.79-92>.

Submetido em: 16/06/2021

Aprovado em: 29/09/2021

Publicado em: 31/05/2022

Editora Responsável: Lisiane Ilha Librelotto

LSNFC: Curadoria dos dados, Análise formal, Investigação, Visualização, Escrita - Rascunho original.

MMB: Escrita - Revisão e edição.

Registro da contribuição de autoria:

LSNFC, MMB: Conceituação e Metodologia.

Declaração de conflito: nada foi declarado.