

Estudo de caso: avaliação de cargas e dimensionamento de vigas e pilares de bambu para construções de dois andares com predominância em bambu

Case study: load evaluation and dimensioning of bamboo beams and columns for two-story predominantly bamboo buildings

Gilberto Carbonari - carbonar@uel.br

Giovanna Bocatti Bernardes - giovanna.bocatti@uel.br

Bruna Morgana Benedetti - b.morganabenedetti@uel.br

Miguel Felipe dos Santos Lopes - miguel.felipe.santos@uel.br

Sidnei Junior Guadanhim - sjg@uel.br

Resumo

O intuito do trabalho é validar a aplicação do bambu, da espécie *Dendrocalamus giganteus*, na estrutura de uma edificação de dois pavimentos, buscando a maximização de seu uso, para demonstrar a sua viabilidade técnica estrutural, fazendo com que ele se torne algo mais atrativo para área da construção civil. Além de tudo, gerar mais material e referências para aplicações em estruturas de bambu. A partir da norma ABNT NBR 16828-1/2020 foi verificado o Estado Limite Último (ELU) e o Estado Limite de serviço (ELS) para o cálculo da resistência das vigas e pilares. Pode-se concluir que a seção resistente de colmos de bambu foi a de 2x3 colmos (adotados: diâmetro externo médio de 14 cm e espessura média de 1,25 cm), tanto para as vigas como para os pilares, desde que usados processos de tratamento, técnicas de identificação de idade e espécie, bem como processos produtivos e de controles adequados.

Palavras-chave: Bambu; Aplicação estrutural; Edifício sustentável.

Abstract

The purpose of this work is to validate the application of bamboo, Dendrocalamus giganteus specie, in the structure of a two-story building, seeking to maximize its use, to demonstrate its technical and structural feasibility, making it something more attractive for civil construction. Furthermore, to generate more material and references for applications in bamboo structures. From the ABNT NBR 16828-1/2020 standard, the Ultimate Limit State (ULS) and the Service Limit State (SLS) were verified to calculate the strength of the beams and columns. It can be concluded that the resistant section of bamboo stalks was 2x3 (adopted: average external diameter of 14 cm and average thickness of 1.25 cm), for both beams and columns. For this, treatment processes, age and species identification techniques, and appropriate production and control processes must be used.

Keywords: Bamboo; Structural application; Sustainable building.

1. Introdução

A construção civil é uma área que gera muitos resíduos, com grande parte deles não permitindo a sua reciclagem, além de não virem de fontes renováveis, causando grandes impactos ambientais. Observando a nova tendência mundial, de busca por sustentabilidade e uma melhor integração do meio ambiente com a economia, tem-se uma necessidade de busca por materiais na construção civil que venham de fontes renováveis, ocasionando menor impacto nos ecossistemas e gerando a preservação dos recursos naturais não renováveis.

O bambu, após tratamentos adequados para evitar o ataque de insetos, apresenta uma surpreendente capacidade mecânica (CARBONARI *et al.*, 2019), o que torna possível a substituição de um material amplamente utilizado: o aço, tanto nas vigas, lajes e pilares.

O bambu já vem sendo amplamente utilizado nos países asiáticos com poder estrutural, mas no Brasil esse material, embora abundante, é pouco utilizado. Algumas obras brasileiras são conhecidas por utilizar bambu no âmbito estrutural assim como a Chácara do Professor, localizada no Distrito Federal, essa chácara utilizou toda estrutura da cobertura de um grande salão em bambu.

O intuito é validar a aplicação do bambu na estrutura de uma edificação de dois pavimentos, buscando a maximização de seu uso, para demonstrar a sua viabilidade técnica e econômica, fazendo com que ele se torne algo mais atrativo para área da construção civil. Além de tudo, gerar mais material para pesquisa sobre o bambu em estruturas.

Este trabalho tem como objetivo utilizar as normas ABNT NBR 16828-1/2020 e ABNT NBR 16282-2/2020 que tratam das estruturas de bambu e suas propriedades, para dimensionar vigas e pilares compostos. Além disso, será utilizado a norma ABNT NBR 6118/2014 - Projeto de estruturas de concreto, para o caso das seções mistas concreto-bambu das lajes.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Patologias e tratamento do bambu após o corte

Por ser um material vivo, o bambu pode ser atacado por predadores tais como fungos e insetos e, quando não tratado, sua vida útil pode ser de, no máximo, 4 anos. Já quando submetido a um tratamento, pode apresentar de 20 a 50 anos de vida útil (NUNES, 2005).

Um dos insetos mais nocivos ao bambu é o *Dinoderus minutus*, pois ele produz túneis no colmo do bambu, nos quais reduzem a vida útil. Este inseto ataca o bambu em busca de amido e existe uma correlação grande entre a quantidade de amido do colmo e seu possível ataque de insetos (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).

Um tipo de tratamento de conservação do bambu está em estudo na Universidade Estadual de Londrina (UEL), conforme se pode ver em Librelotto (2019), Capítulo 6. Este tratamento envolve a utilização da substância tanino, que garante uma ótima conservação do colmo do bambu e atua como “REPELENTE” de insetos. Vale ressaltar, que este estudo está em fase final.

O tanino evita o ataque de carunchos e fungos nos colmos do bambu, ele já é utilizado na indústria de curtumes. O tanino é injetado no bambu pelo Método de Boucherie, ou seja, é introduzido por pressão nos bambus. Desde 2013 a equipe da UEL trata os bambus com tanino e ainda não observam nenhum ataque de carunchos nos mesmos (LIBRELOTTO, 2019)

2.2 Propriedades mecânicas do bambu

Carbonari *et al* (2017) e Librelotto (2019) a fim de determinar as propriedades mecânicas de diversas espécies de bambu (idades de 4 a 8 anos), utilizou-se de ensaios de laboratórios realizados na Universidade Estadual de Londrina, sendo que na Tabela 1 constam os valores obtidos das propriedades da espécie utilizada neste trabalho, cujo diâmetro externo médio medido nas pesquisas foi de 14 cm, e espessura média de 1,25 cm.

No ensaio de resistência a compressão foram retirados 3 corpos de prova em diferentes posições do colmo, todos tiveram a altura e diâmetro medidos. Para a resistência a tração foram utilizados 4 corpos de prova para a base, região intermediária e topo, no qual 2 deles avaliavam a tração nas fibras internas e os outros 2 a tração nas fibras externas.

<i>Dendrocalamus giganteus</i>	Com Nó	Sem Nó
Resistência à compressão (MPa)	48,27 ± 3,5%	48,27 ± 3,5%
Resistência à tração - Fibra Interna (MPa)	52 ± 16,1%	133 ± 5,7%
Resistência à tração - Fibra Externa (MPa)	186 ± 12,6%	203 ± 4,4%
Módulo de elasticidade (GPa)	21,90 ± 6,4%	21,90 ± 7,2%

Tabela 1: Valores médios da resistência à compressão do bambu. Fonte: Carbonari *et al* (2017).

2.3 Lajes

Carbonari *et al* (2019) executou lajes mistas com vigotas de bambu na qual essa laje continha uma capa de concreto e placas de EPS. Também foi utilizado conectores de bambu para melhorar a aderência bambu-concreto e uma malha superior de filetes de bambu com 15x15 centímetros. A figura 1 apresenta a seção transversal da laje estudada.

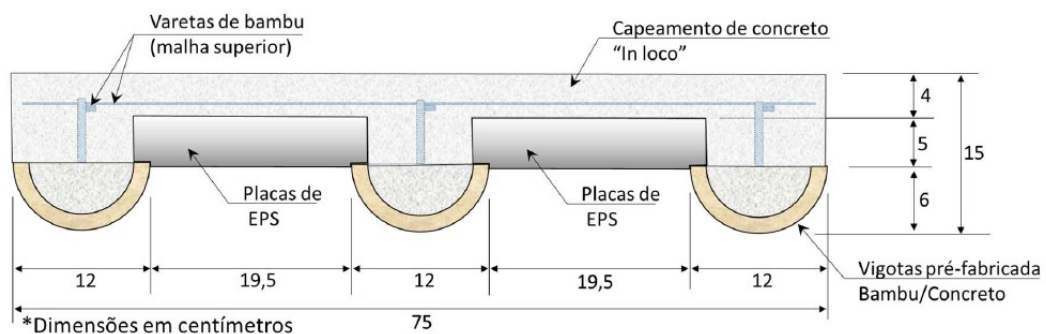


Figura 1 – Layout das lajes ensaiadas. Fonte: Carbonari *et al* (2019).

O resultado obtido foi semelhante em todas as lajes: falha nos conectores que realizam a ligação dos colmos no concreto. No estado limite de serviço, comportamento mecânico das lajes atende ao exigido na norma tanto na questão de carga como em deslocamentos.

2.4 Tesouras de bambu

Gonçalves *et al* (2018) executou e ensaiou uma tesoura de bambu com a configuração vista na figura 2 abaixo.

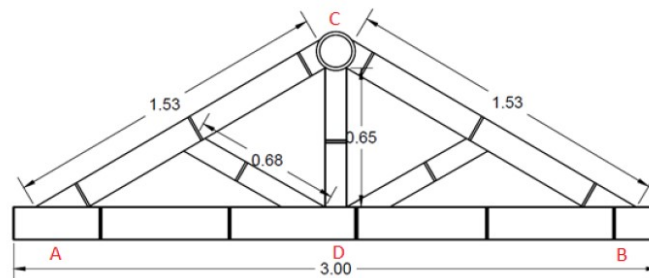


Figura 2 - Configuração das tesouras. Fonte: Gonçalves et al (2018).

Com o trabalho, foi possível concluir que as tesouras em bambu reforçadas resistem aos esforços internos gerados pela carga de norma, na qual está presente na cobertura. O deslocamento se manteve dentro do limite exigido na norma. Assim, pode-se dizer que se o bambu for devidamente tratado, sua utilização se torna viável em tesouras.

2.5 Normas de referência

As normas utilizadas que se referem ao bambu no Brasil são a ABNT NBR 16828-1 e ABNT NBR 16828-2.

2.5.1 Vigas

Vigas são elementos submetidos basicamente à flexão, e o dimensionamento a seguir considera as cargas distribuídas de forma simétrica. Se a carga for assimétrica deve-se considerar os pontos críticos no cálculo. O dimensionamento a seguir neste capítulo foi referenciado pela NBR 16828-1.

O dimensionamento à flexão dos bambus é semelhante ao utilizado na norma de madeira e é inserido um coeficiente de minoração das resistências características do bambu γ_m conforme a Tabela 2.

Propriedade	$f_{c0,k}$	$f_{t0,k}$	$f_{v0,k}$	$f_{t90,k}$	$f_{M,k}$
γ_m	2,0	1,8	2,0	2,0	1,8

NOTA Para verificações nos estados-limite de serviço, $\gamma_m = 1,0$.

Tabela 2 - Coeficiente de minoração das resistências características do bambu. Fonte: NBR 16828-1 (2020).

O cisalhamento deve ser verificado quando existir uma carga aplicada no centro da viga ou quando o comprimento for menor que 25 vezes o diâmetro da extremidade (NBR 16828-1, 2020), que é semelhante a norma de madeira.

De acordo com a NBR 16828-1 (2020), quando se trata de vigas com mais de um colmo compondo a viga, a conexão existente entre eles deve fazer com que as vigas trabalhem de forma simultânea. Quando as seções forem amarradas entre si, o momento de inércia é a soma dos momentos de inércia de cada elemento. Nas seções parafusadas entre si, deve ser considerado o teorema dos eixos paralelos e o diâmetro mínimo do parafuso deve ser de 10 milímetros.

O espaçamento entre os conectores não deve ser maior que três vezes a altura total da viga e a um quarto do vão. O primeiro conector deve estar no mínimo a 50mm a partir da face de apoio (NBR 16828-1, 2020).

Além disso, a NBR 16828-1 (2020) ainda diz que quando os colmos da viga estão na vertical, deve-se atentar à redução da capacidade de carga em flexão devido à flambagem lateral. Para isso, utiliza-se o coeficiente de modificação k_{mod4} , visto na Tabela 3 a seguir:

h/D	k_{mod4}
1	1,00
2	0,98
3	0,95
4	0,91
5	0,97

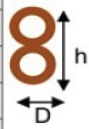


Tabela 3 – Valor de k_{mod4} . Fonte: NBR 16828-1 (2020).

E a equação (1) da resistência de cálculo de compressão paralelo as fibras $f_{c,0d}$ é dada a seguir:

$$f_{c,0d} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3} \cdot k_{mod4} \cdot f_{c,0k} / \gamma_m \quad (1)$$

As contenções laterais a fim de evitar a flambagem são vistas na tabela 4 a seguir:

h/D = 2	Não há necessidade de suporte lateral
h/D = 3	Restringir o deslocamento lateral dos apoios
h/D = 4	Restringir o deslocamento lateral dos apoios e no lado comprimido
h/D = 5	Restringir o deslocamento lateral dos apoios e continuamente no lado comprimido

Tabela 4 – Contensões para evitar a flambagem. Fonte: NBR 16828-1 (2020).

No caso do cisalhamento, o esforço cortante de cada colmo é o resultado da divisão do valor total pelo número de colmos da viga. E esta verificação é feita de forma individual (NBR 16828-1, 2020).

Pela NBR 16828-1 (2020) a flecha máxima estabelecida é de L/300, a curvatura inicial deve ser considerada. Porém o bambu possui uma fluência muito grande, então considera-se que devido às ações permanentes a flecha atinja um valor 1,7 vez maior que flecha inicial.

2.5.2 Pilares

Os pilares recebem basicamente cargas axiais e de compressão e, para isso, faz-se necessário escolher o colmo mais retilíneo para se utilizar em pilares (NBR 16828-1, 2020).

O comprimento de flambagem do bambu é a distância entre os pontos onde há impedimento dos deslocamentos transversais, pois as extremidades são consideradas desarticuladas. Quando há a existência de uma extremidade livre, a outra deve possuir o terceiro gênero de apoio (e nesse caso, o comprimento de flambagem é considerado duas vezes o comprimento do pilar) (NBR 16828-1, 2020).

Pela NBR 16828-1 (2020), a esbeltez (λ) máxima é de 150 e é obtida através da razão entre o comprimento de flambagem do pilar (L_0) e o raio de giração ($i = (I/A)^{1/2}$).

Pela NBR 16828-1 (2020), se o pilar for curto e composto por um único colmo, a existência de momentos pode ser desconsiderada e utilizar a seguinte equação 2 para a tensão de compressão devida ao esforço normal de cálculo (σ_{Nd}):

$$\sigma_{Nd} = N_d/A \quad (2)$$

Onde:

N_d = Esforço normal de cálculo obtido com a combinação normal da ABNT NBR 8681.

A equação 3 deve ser satisfeita:

$$\sigma_{Nd} \leq f_{c0,d} \quad (3)$$

Sendo, a resistência de cálculo a compressão paralela as fibras a equação 4:

$$f_{c0,d} = k_{mod} \cdot f_{c0,k} / \gamma_m \quad (4)$$

Quando a esbeltez do pilar está em 30 e 70, ele está suscetível à flexo compressão. E para evitar isso a equação 5 deverá ser satisfeita.

$$\sigma_{Nd} + \sigma_{Md} \leq \sigma_{fl} \quad (5)$$

Onde:

σ_{Nd} = Tensão de compressão devida ao esforço normal de cálculo;

$\sigma_{Md} = M_d/W$ = Tensão normal de compressão devido ao momento fletor de cálculo;

W = Momento resistente da seção transversal.

$F_E = (\pi^2 \cdot E_b \cdot I) / L_0^2$ = Força de Euler;

$E_b = E_{co}$ = Módulo de elasticidade do bambu em pressão paralela as fibras;

I = Momento de inércia da seção transversal;

$M_d = N_d \cdot e / (1 - N_d / F_{fl})$ = Momento de cálculo;

$e = e_i + e_a$ = excentricidade total;

$F_{fl} = \sigma_{fl} \cdot A =$ Força limite (considerando a flambagem e esmagamento da parede do bambu).

A excentricidade total é a soma da excentricidade inicial (e_i) com as imperfeições adicionais (e_a). Já a excentricidade inicial pode ser $e_i = \bar{D}/20$ quando a barra não possui excentricidade. Caso a excentricidade acidental não seja medida deve-se considerar $e_a = L/100$ (NBR 16828-1, 2020).

Quando o pilar é considerado esbelto, a formulação é a mesma do item anterior, no entanto, o cálculo de excentricidade é conforme a equação 6 a seguir:

$$e = e_i + e_a + e_c \quad (6)$$

Onde:

$e_c = (e_i \text{ ou } e_a) \cdot [2,718^\alpha - 1] =$ Excentricidade devida à fluência do bambu (Considerar o maior entre e_i ou e_a).

Quando se trata de pilares compostos que não possuem ligação em si, o momento de inércia é igual a soma das inércias de cada colmo que compõe o pilar (NBR 16828-1, 2020).

A NBR 16828-1 (2020) afirma ainda que, quando os colmos são unidos entre si ao longo do comprimento, o momento de inércia deve ser calculado pelo teorema de Steiner dos eixos paralelos e multiplicado por um coeficiente K, que é igual a 0,8 quando os pilares são compostos de 2 colmos e 0,7 quando são compostos por 3 ou mais colmos.

Segundo a NBR 16828-1, para as uniões perpendiculares ou diagonais das peças de bambu, é necessário manter a maior zona de contato entre as peças de acordo com os cortes já mostrados, além de garantir a rigidez da união e se necessário à utilização de reforços caso necessário. E uma das ligações sugeridas pela norma e já utilizada em construções existentes é a ligação com gancho e barra rosca, seu esquema e aplicação podem ser visto na Figura 3.



Figura 3 – Ligação com gancho e barra rosca. Fonte: NBR 16828-1 (2020).

3. Métodos

3.1 Considerações iniciais

O projeto arquitetônico foi feito pelo aluno Miguel Felipe dos Santos Lopes com o auxílio do professor Sidnei Junior Guadanhim, do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina, onde o projeto foi desenvolvido com intuito de abrigar três centros acadêmicos da Universidade. Este projeto é apenas de estudo, sem vínculo com a Universidade e, caso, futuramente a instituição necessite de um projeto, a versão executiva deste pré-projeto será apresentada como uma opção. (Ver plantas baixas das figuras 4 e 5)

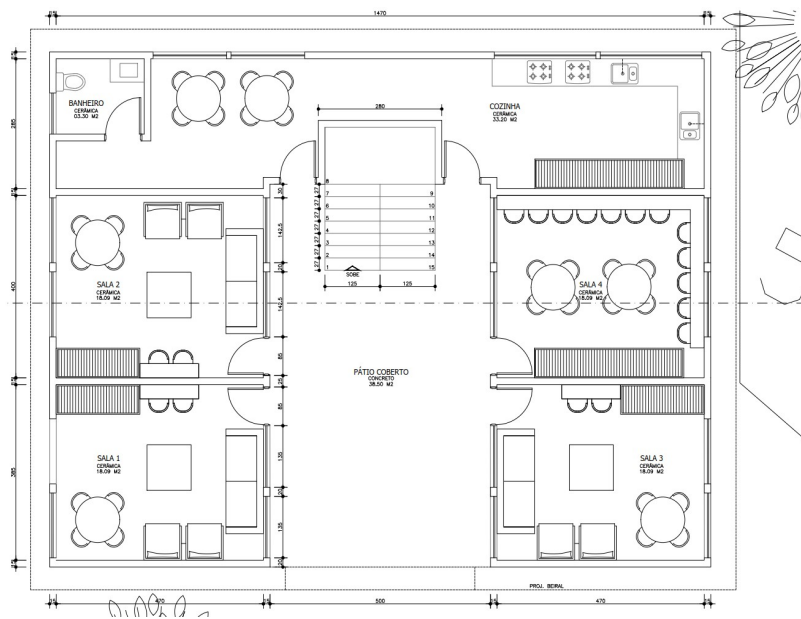


Figura 4 – Térreo da edificação. Fonte: os próprios autores.

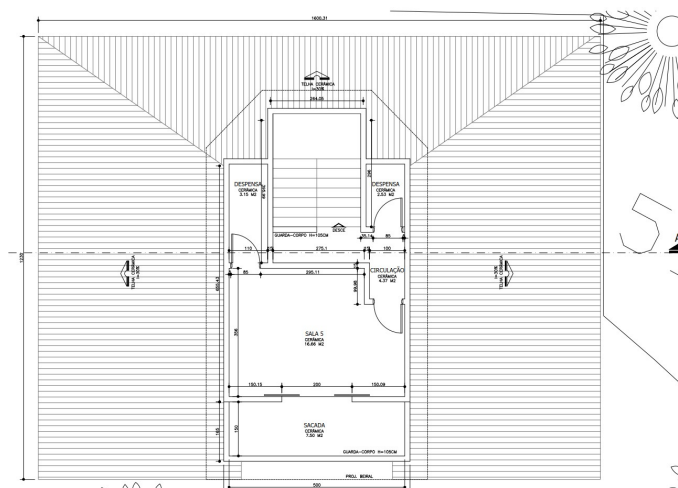


Figura 5 – Primeiro pavimento da edificação. Fonte: os próprios autores.

Foram lançados no projeto as lajes, as vigas e os pilares, de modo que as lajes são os elementos que formam o piso dos ambientes, sendo apoiadas pelas vigas. As lajes foram consideradas como sendo nervuradas e unidirecionais, apoiadas sempre no vão de menor dimensão, nas figuras 6, 7, 8, 9, a seguir é possível observar o projeto arquitetônico e a disposição das vigas e pilares. O pré-projeto ainda é carente de projetos de fundação.

3.1.1. Paredes de wood-frame

As construções em *wood-frame* são mais leves que as construções tradicionais incluindo suas estruturas de vedação. Para a construção da vedação são utilizadas modulações. Essas modulações possuem camadas que têm função estrutural, de isolamento termo acústico, além da vedação e acabamentos. Além disso essa modulação também possibilita a existência de aberturas (TECVERDE ENGENHARIA LTDA.).

3.1.2. Cobertura de Taubilha

As telhas de madeira são denominadas taubilhas e podem ser feitas de forma manual ou industrializadas, a madeira a ser usada também varia, pode ser madeira de reflorestamento, de demolição, etc.

A impermeabilização das telhas não é obrigatória, porém aumenta a durabilidade das mesmas e as protege contra agentes biológicos. É usado um composto químico Arseniato de Cobre Cromatado (CAA) e preservativos de madeira composto por cobre, cromo e arsênio. Esse preservativo evita a presença de fungos e insetos que deterioram a madeira (DA SILVA RABELO, 2019).

Quando a taubilha é produzida manualmente os cortes na madeira são feitos no sentido do comprimento da fibra da madeira. A utilização telhas de madeira são ecologicamente viáveis, possuem um ótimo isolamento térmico (principalmente em comparação com as telhas de fibrocimento (DA SILVA RABELO, 2019) além de um peso próprio mais baixo que as telhas cerâmicas. Telhados executados com taubilha podem ser vistos na figura 6.



Figura 6– Talhado com taubilha. Fonte: Os próprios autores.

As vigas são os elementos estruturais responsáveis pela transição horizontal de carga das lajes e das paredes para os pilares que, por sua vez, são os responsáveis pela transição vertical das cargas de cada pavimentos para a fundação. Sempre que possível foi

posicionado uma viga sob a parede, de modo que a carga concentrada da parede não descarregasse diretamente sobre a laje. Por fim, os pilares foram dispostos para reduzir o vão das vigas e de modo que os pilares se localizem no encontro das vigas.

Para o levantamento de cargas, sabendo os componentes construtivos da edificação e o tipo de uso de cada ambiente apresentará, foi possível determinar, a partir da ABNT NBR 6120:2019 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, as cargas permanentes e acidentais que atuam na estrutura da edificação. Ademais, baseado na ABNT NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas – procedimento, obteve-se a combinação para o estado limite último (ELU) para o cálculo estrutural.

Com base nos estudos realizados pelo Carbonari *et al* (2017), obteve-se as características físicas e mecânicas da espécie de bambu *Dendrocalamus giganteus* que foi utilizada para o dimensionamento estrutural.

As lajes são compostas de maneira mista, ou seja, de concreto nas regiões de compressão e bambu nas regiões tracionadas, com a presença de conectores para garantir que ocorra aderência e trabalhem de forma conjunta e, também foram calculadas como lajes unidirecionais com apoio simples (não foi considerado vinculação de engastamento entre as lajes). As vigas e pilares são feitas inteiramente de bambus, com exceção dos pontos nos quais é necessário reforço.

Na cobertura serão consideradas telhas de madeira. Essas telhas possuem baixo peso próprio em comparação às telhas cerâmicas e um bom isolamento térmico em comparação com as telhas de fibrocimento (DA SILVA RABELO, 2019), além de manter a configuração preservar a harmonia de toda a edificação.

Para as paredes de vedação foi optada a opção de *wood-frame*, pois esse sistema é leve e assegura ainda mais a bandeira da sustentabilidade.

3.2 Pré-dimensionamento

3.2.1 Vigas

Com as cargas e reações de apoio das lajes já calculadas, foi analisada primeiro a flecha máxima da viga, sendo expressa pela equação ($y_{máx}=5qL^4/384EI$) da linha elástica, para viga bi-apoiada com carga distribuída. Onde q é a carga distribuída na viga, L é o vão da viga, E é o módulo de elasticidade, e I é a inércia da seção.

O bambu é um material que apresenta uma baixa rigidez à flexão. A ABNT 16828-1 – Estruturas de bambu Parte 1: Projeto apresenta que o valor-limite de deslocamento de vigas de bambu é de $L/300$. Dessa forma, igualando ao valor-limite da norma e a equação da flecha máxima da viga, foi possível isolar o momento de inércia mínimo para saber qual é o seu valor mínimo para as cargas solicitantes, ou seja, $I_{min}=1500qL^3/384E$.

3.2.2 Pilares

Para o pré-dimensionamento dos pilares, foi verificado a carga crítica de flambagem pela fórmula de Euler, onde também a inércia foi isolada para obter o valor mínimo da carga solicitante, ou seja: $I = F_E L^2 / \pi^2 E$

3.3 Dimensionamento das Vigas e Pilares

Com base na ABNT 16828-1 – Estruturas de bambu Parte 1: Projeto, foi utilizado a formulação presente no item 2.5.1 presente neste artigo para o dimensionamento das vigas, já para os pilares, foi empregado o item 2.5.2. Foram adotados os seguintes valores médios dos colmos: Diâmetro externo de 14 cm, e espessura de 1,25 cm.

4. Resultados

A laje utilizada foi a apresentada pela figura 1. Foi considerado uma camada de regularização com espessura de 2 cm e um piso de madeira com 3 cm, sobrecarga utilizada de 3 kN/m², carga permanente de 2,84 kN/m², resultando no F_k de 5,84 kN/m².

A viga com maior vão na estrutura apresentou um valor de 5,31 m e, conforme o pré-dimensionamento, a carga distribuída máxima suportada pela seção 2x3 colmos e com esse vão é de 29,37 kN/m. Dessa forma, todas vigas na edificação foram 2x3 colmos, pois nenhuma excedeu o valor de 29,37 kN/m e o valor máximo de carga distribuída foi de 22,23 kN/m para um vão de 2,65 m. Todas as vigas passaram com a seção de 2x3 colmos no dimensionamento à flexão e pelas verificações de apresentadas pela ABNT 16828-1.

Nos pilares, a altura foi de 2,81 m e a maior carga encontrada foi de 50,26 kN, na qual a seção de 2x3 colmos foi suficiente para a carga solicitante. Assim como as vigas, todos os pilares passaram nas verificações exigidas pela norma de bambu e a esbelteza λ encontrada foi de 23, no qual ele foi considerado um pilar curto, pois a esbelteza foi menor que 30.

5. Conclusões

Ao realizar o levantamento de cargas e as verificações no E.L.U. e E.L.S, pode-se notar que esta estrutura apresenta leveza, já que foi aplicado o bambu e lajes mistas de concreto-bambu como elementos estruturais, telhas de madeira e paredes de *wood-frame*. Dessa forma, a estrutura ao todo resultou em uma baixa carga de fundação.

Este pré-projeto foi criado como um objeto de estudo, assim, não apresenta clareza na parte da execução por não ser um projeto definitivo, mas mostrou viabilidade a nível de projeto. Em vigas e pilares, o travamento lateral se faz necessário, nos quais seriam utilizados tirantes, além do contraventamento, por conta da flexibilidade do material

Com análise dos esforços, verificou-se que a seção com 2x3 colmos de bambu resiste ao pilar e viga mais solicitados da edificação. Dessa forma, com a finalidade de uniformizar foi considerado essa seção para todos os pilares e vigas.

É possível afirmar que o bambu apresenta um ótimo desempenho estrutural. Com tratamentos adequados, pode-se tornar um substituto do aço, no quesito sustentabilidade, já que o bambu vem de uma fonte renovável, com excelentes propriedades mecânicas.

Referências

- ABNT **NBR 16828-1**: Estruturas de bambu Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2020.
- ABNT **NBR 16828-2**: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu. Rio de Janeiro, 2020.
- ABNT **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, p. 238. 2014.
- ABNT **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, p. 66. 2019.
- CARBONARI, G.; LOPES, L.A. M.; ROSSI, G.B.; PIEDADE, G.H.; LEITE, F.C.M.; ACOSTA, C. **Lajes mistas de bambu-concreto pré-fabricadas com zero aço: são viáveis tecnicamente?** In: VII Encontro de Sustentabilidade em Projeto, ENSUS 2019. Florianópolis: UFSC, 2019.
- DA SILVA RABELO, Olivan et al. **Coberturas ecológicas para aplicação em moradias dos assentamentos da reforma agrária: Alternativas deecoinovação.** E&S Engineering and Science, v. 8, n. 1, p. 41-61, 2019.
- GONÇALVES, Vitória Maria; CARBONARI, Gilberto; PRONI, Gustavo. **Aplicação estrutural do bambu—tesouras de duas águas: análise teórica-experimental.** MIX Sustentável, v. 5, n. 1, p. 19-33, 2019.
- HIDALGO-LÓPEZ, O. **Bamboo: The gift of the gods.** Colombia: D’Vinni Ltda, Part 4. 2003. p. 142-153
- LIBRELOTTO, L. I.; OSTAPIV, Fabiano. **Bambu caminhos para o desenvolvimento sustentável no Brasil.** Virtuhab, 204p. Florianópolis, 2019.
- NUNES, Antonio Ricardo Sampaio. **Construindo com a natureza bambu: uma alternativa de ecodesenvolvimento.** Dissertação de mestrado. São Cristovam. 2005.
- TECVERDE ENGENHARIA LTDA. **Como projetar em wood frame: Principais características do sistema construtivo wood frame e diretrizes para desenvolvimento de projetos arquitetônicos.** São Francisco – Curitiba, s/d. Site: [http://pt.scribd.com/doc/71851250/6491-Diretrizes-Para-Projetar-Em-WoodFra](http://pt.scribd.com/doc/71851250/6491-Diretrizes-Para-Projetar-Em-WoodFrame-Tecverde) me-Tecverde. Acesso em 02/02/2021