

Uso do bambu em estruturas de sustentação como uma alternativa aos materiais ferrosos

Use of the bamboo in sustentention structures as an alternative to the ferrous materials

RESUMO

Felipe Frizon

Frizon@alunos.utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil.

Gabriel Felipe Richtic

richtic@alunos.utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil.

Fábio Junkes Corrêa

fabiocorreia@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil.

Fabiano Ostapiv

fabianoostapiv@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil.

Com o desenvolvimento econômico e a produção no ramo metal-mecânico em ascensão, as reservas de materiais ferrosos no cenário mundial vem diminuindo cada vez mais. Visando esse aspecto, em busca de novas alternativas, o bambu pode substituir as tecnologias convencionais, como materiais ferrosos, por agregar diversas vantagens como o baixo custo, vasta disponibilidade encontrado no Brasil, alta resistência a tração, boa resistência à compressão, leveza, entre outros motivos. Para poder introduzir o bambu nos projetos estruturais é preciso conhecer as suas propriedades mecânicas, possibilitando dimensioná-los. Com isso, esse trabalho tem como propósito modelar as treliças que compõem as sustentações das coberturas dos pavimentos para circulação de pessoas presentes da UTFPR de Pato Branco e, assim, analisar o comportamento mecânico dos elementos constituídos por bambus que compõem a estrutura. Conhecendo a resistência mecânica dos bambus, com o desenvolvimento de um modelo aplicando o método dos nós, serão adotados critérios de resistência para estipular as tensões permissíveis de cada elemento constituído por bambu e, com isso, encontrar a geometria ideal dessa estrutura.

PALAVRAS-CHAVE: Treliças. Bambu. Propriedades mecânicas. Resistência dos Materiais.

ABSTRACT

With economic development and production in the metal-mechanic industry on the rise, ferrous materials reserve on the world scene has been decreasing more and more. Aiming this aspect, looking for new alternatives, bamboo can replace conventional technologies such as ferrous materials, by adding several advantages such as low cost, wide availability found in Brazil, high tensile strength, good compressive strength, and lightness, among others reasons. In order to be able to introduce bamboo in structural projects, it is necessary to know its mechanical properties, making it possible to dimension them. Thus, this work aims to model the trusses that compose the paving coverings supports for circulation of people present at the Pato Branco UTFPR and, thus, to analyze the mechanical behavior of the bamboo elements that compose the structure. Knowing the bamboos mechanical strength, with the model development applying the nodes method, resistance criteria will be adopted to stipulate the each bamboo element permissible stresses and thus find the structure ideal geometry.

KEYWORDS: Trusses. Bamboo. Mechanical properties. Strength of materials.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Na área de mecânica dos sólidos, projetos estruturais são desenvolvidos de maneira que os elementos que compõem uma estrutura tenham resistência mecânica suficiente para suportar os carregamentos atuantes, considerando os critérios de resistência adotados (BEER, 2011; HIBBELER, 2011a).

Existem diversos exemplos de estruturas como treliças, pórticos, vigas, pilares, grelhas, arcos, cabos etc. Entre os principais tipos de estruturas, esse trabalho foca em treliças por ser o tipo de estrutura que compõem as sustentações das coberturas dos pavimentos para circulação de pessoas presentes da UTFPR.

Treliça é uma estrutura formada por componentes, cujas extremidades são conectadas por articulações. Em relação aos tipos de tensões, os componentes que compõem uma estrutura treliçada estão sujeitos a tensões normais a sua seção, ou seja, podem estar sujeitos a tensões de tração ou a tensões de compressão. O comportamento de uma treliça pode ser semelhante ao de uma viga, pois a alma sólida pode ser substituída por uma série de barras horizontais, verticais e diagonais. Eliminando a alma sólida, é possível reduzir significativamente o peso. Uma das vantagens da treliça é o fato de possuir um baixo peso por usar pouco material oferecendo uma resistência considerável (HIBBELER, 2011b; BHAVIKATTI, 2010; STANFORD, 2018).

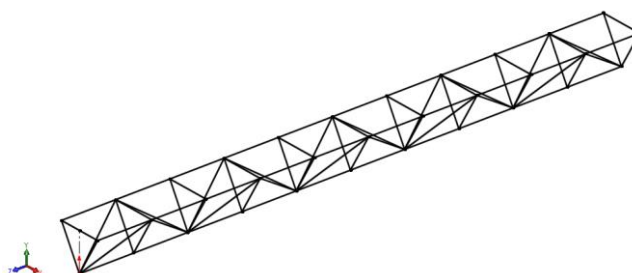
Os materiais convencionais metálicos que constituem as treliças podem ser substituídos por materiais ecológicos, buscando alcançar uma configuração melhor, reduzindo o peso e o custo da estrutura com uma rigidez compatível.

Sabendo que uma estrutura treliçada pode suportar carregamentos axiais, tanto de tração como de compressão, esse trabalho propõe substituir uma estrutura metálica por uma estrutura constituída por bambus, mantendo uma resistência mecânica permissível.

MATERIAL E MÉTODOS.

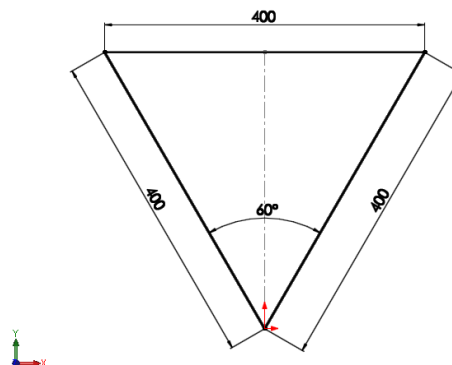
A estrutura a ser analisada sustenta as coberturas dos pavimentos para circulação de pessoas da UTFPR-PB. Para a sustentação da cobertura, são dispostas treliças do tipo *triangletruss* (BHAVIKATTI, 2010). Conforme o objetivo do trabalho, essas treliças presentes na UTFPR-PB foram adotadas (Figura 1). Elas possuem 5 metros de comprimento, forma triangular (Figura 2) e são fabricadas em tubos vazados de aço ASTM A36 de 1" e 2". Como proposta desse trabalho, pretende-se dimensionar uma estrutura semelhante constituída de bambu.

Figura 1 - Perspectiva da Estrutura Treliçada.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 2 - Seção triangular no plano xy.



Fonte: Autoria própria (2019).

Para o dimensionamento da estrutura, primeiramente foram verificadas as forças permanentes e as forças variáveis atuantes sobre o sistema estrutural, sendo elas, o peso de todos os componentes e o efeito dinâmico do vento, respectivamente, além de uma sobrecarga obrigatória de 250 N/m², conforme especifica a norma NBR8800/2008 (ABNT, 2008).

Para um levantamento correto dos esforços variáveis, foi utilizado critérios com base na norma NBR 6123/1988 (ABNT, 1988). Com isso, é possível determinar os efeitos dinâmicos do vento, sendo adotada uma velocidade de 45 m/s relativa à região sudoeste do Paraná, um fator topográfico de 1,14 com base na inclinação do terreno onde se encontra a estrutura, um fator de rugosidade do solo igual a 0,74 e um fator estatístico de 1,00. Com esses valores, pode-se obter a velocidade característica e a pressão dinâmica do vento segundo a norma NBR-6123/1988 (ABNT, 1988), conforme expresso nas equações 1 e 2.

$$V_k = 45 \times 1,14 \times 0,74 \times 1,00 = 37,91 \text{ m/s} \quad (1)$$

$$q_v = 0,613 \times V_k^2 = 0,881 \text{ kN/m}^2 \quad (2)$$

Com o valor da pressão dinâmica encontrada, adotando um coeficiente de pressão externa (C_{pe}) igual a ±2, conforme a norma NBR-6123/1988 (ABNT, 1988), e sabendo que a largura do telhado que cobre a estrutura é igual a 3 m, é possível calcular o valor do carregamento exercido na estrutura devido à força de arrasto pela ação do vento, aplicando a equação 3.

$$cv = 881 \times 2 \times 3 = 5286 \text{ N/m} \quad (3)$$

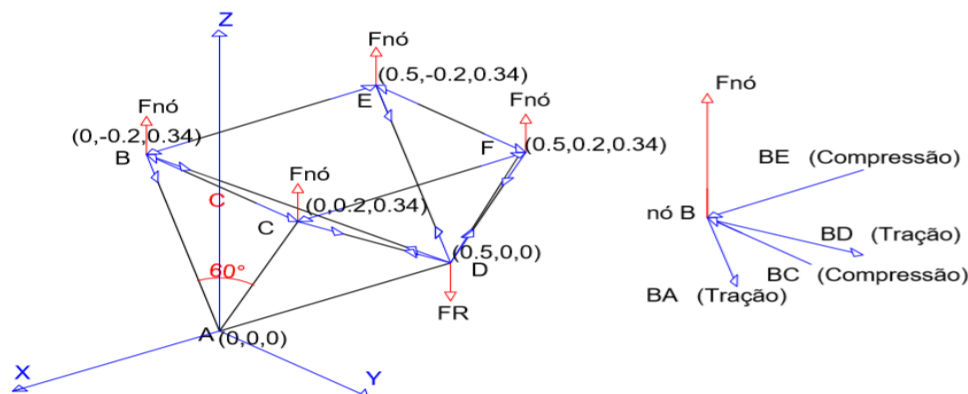
Com base na força de arrasto e na força peso, foi encontrado o carregamento atuante sobre a estrutura, considerando constante ao longo dela. A partir da força distribuída, foi alocado forças pontuais sobre os nós da parte superior da treliça (Fnó). Através das forças presentes nos nós, foram encontradas as forças de reação (FR) nos apoios da estrutura.

Para a realização do procedimento matemático, a estrutura foi seccionada em um vão de 1 m a partir de uma extremidade e aplicada o método dos nós, com o auxílio do *software* numérico *Matlab* R2015, para encontrar as forças presentes em cada elemento que compõem a estrutura treliçada. Esse método consiste em analisar isoladamente os nós presentes na estrutura, aplicando uma condição de equilíbrio estático, onde o somatório das forças na direção x, na direção y e na direção z é igual a zero, conforme a equação 4 (BEER, 2013; HIBBELER, 2011b).

$$\sum F_x = 0; \quad \sum F_y = 0; \quad \sum F_z = 0. \quad (4)$$

A Figura 3 mostra um nó em equilíbrio onde o somatório das forças em todas as direções é nulo. Implementando o modelo desenvolvido, pode-se encontrar as forças de tração e de compressão nos elementos que formam a estrutura.

Figura 3 – Aplicação do método dos nós no nó B



Fonte: Autoria própria (2019).

O bambu-Mossô (*Phyllostachys pubescens*) foi adotado como matéria prima desse trabalho, pois possui vasta disponibilidade no território nacional (Brasil), possui um grande potencial como um material fibroso, alta resistência a tração, boa resistência à compressão e por ser um material renovável (BERNSEN, 2014). As propriedades mecânicas do bambu-Mossô constam na Tabela 1. Com todos esses atributos, aliado à leveza e ao baixo custo quando comparado aos materiais ferrosos, o bambu-Mossô foi concedido como uma ótima opção para a construção de uma treliça espacial.

Tabela 1 - Propriedades Mecânicas do Bambu-Mossô

Propriedades	Valores
Coefficiente de Poisson	0,25
Massa Específica	750 kg/m ³
Módulo de Elasticidade	12 GPa
Resistência à Compressão	167 Mpa
Resistência à Tração	154 MPa

Fonte: Berndsen (2014).

Devido à variabilidade nas propriedades mecânicas do bambu e a aproximação dos cálculos de tensão, foi utilizado uma tensão admissível (σ_a) com base na tensão limite do bambu (σ_l) e no coeficiente de segurança (CS) igual a 3 (CALLISTER, 2007). Esse procedimento de segurança é representado na equação 5.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_l}{CS} \quad (5)$$

Com base na tensão admissível e nas forças presentes nos elementos mais críticos das treliças, foi possível calcular, conforme a equação 6, um diâmetro aproximado para um elemento constituído de bambu, onde "A" é a área da seção do elemento e "F" a força de tração ou de compressão.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (6)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra os resultados numéricos obtidos aplicando o método dos nós a partir das forças presentes nos nós superiores e das forças de reação.

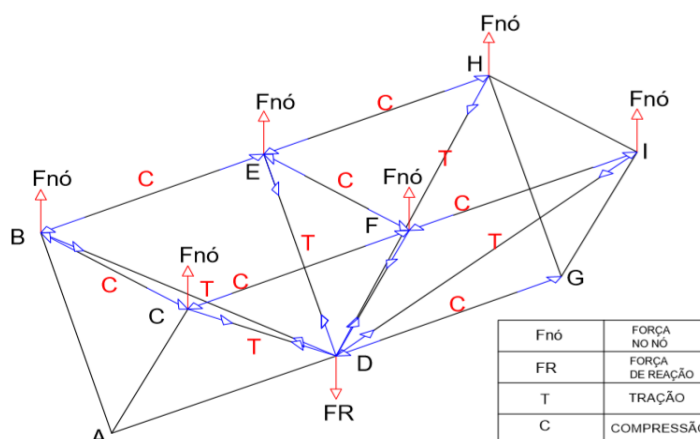
Tabela 2 – Resumo das forças atuantes sobre a estrutura.

FORÇA	MÓDULO (N)	FORÇA	MÓDULO (N)
Fnó	1023,8	CF	1.477,7
FR	11262,0	DE	1.182,2
AB	0	DF	1.182,2
AC	0	DG	7.388,4
AD	0	DH	6.623,3
BC	591,08	DI	6,623,3
BD	1.892,4	EH	1.477,2
BE	1.477,7	EF	591,08
CD	1.892,4	FI	1.477,7

Fonte: Autoria própria (2019).

Com base nas forças presentes nos elementos, foi possível classificá-las em forças de tração e de compressão, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Esquema de forças axiais presentes na estrutura.



Fonte: Autoria própria (2019).

Conforme verificado na Tabela 2, a força crítica de compressão está presente no elemento DG e tem módulo de 7.388,4 N. Já a força crítica de tração é encontrada nos elementos DH e DI com módulo de 6.623,3 N. Aplicando a equação 5, foram encontradas as tensões admissíveis de 55,7 MPa para compressão e 51,33 MPa para tração. Com base na equação 6, com a força presente no elemento DG e a tensão admissível de compressão, foi encontrado um diâmetro de 13,0 mm. Analisando as forças presentes nos elementos DH e DI e com base na tensão admissível de tração, foi encontrado um diâmetro de 12,8 mm. Com os resultados obtidos, optou-se por um diâmetro de 15 mm, sendo esse o valor necessário para que a estrutura suporte as condições dadas sem fraturar devido à ação das forças axiais de tração e de compressão apenas.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, desenvolvido em cima de uma estrutura treliçada, aplicando o método dos nós através do *software* Matlab R2015, foi constatado como o bambu pode ser incorporado em estruturas treliçadas como uma alternativa aos materiais ferrosos padrões, uma vez que há uma abundância desse material em território nacional, ser consideravelmente mais barato e, principalmente, ter um menor gasto de energia para processá-lo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR) e as instituições de apoio financeiro como CNPq e CAPES.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800/08**: Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123/88**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

BEER, F. P.; JOHNSTON J. R.; DEWOLF, J. T.; MAZUREK, D. F.; Mechanics of Materials. 5th edition. Publisher: McGraw-Hill, 2011

BEER, F. P.; JOHNSTON J. R.; DEWOLF, J. T.; MAZUREK, D. F.; Statics and Mechanics of Materials. 1th edition. Publisher: McGraw-Hill, 2013.

BERNSEN, R. S. et al. MECHANICAL RESISTANCE OF MOSO BAMBOO (*Phyllostachys pubescens*) PART 2: AXIAL TENSILE STRENGTH, HARDNESS AND WEAR RESISTANCE. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 44, n. 3, p. 505 - 514, jul./set. 2014.

BHAVIKATTI, S. S. Structural Analysis. 4th edition. Publisher: Vikas Publishing House. 2010

CALLISTER, W. D. MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING: An Introduction. 7th edition. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., 2007.

HIBBELER, R. C. Mechanics of Materials. 8th edition. Publisher: Prentice Hall, 2011a.

HIBBELER, R. C. Structural Analysis. 8th edition. Publisher: Prentice Hall, 2011b.

STANFORD, J. Structural Analysis Made Easy. 1st edition. Publisher: Independently published. 2018