

Estudo experimental de treliças (tesouras) executadas em bambu.

Experimental study of a truss in bamboo

Diogo Rodrigo Barbosa, Estudante de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina.

diogo.rodrigo.barbosa@gmail.com

Gilberto Carbonari, Doutor, Universidade Estadual de Londrina.

prof.gilberto.carbonari@gmail.com

Resumo

A construção civil é um setor que consome muito dos recursos naturais produzidos. Isso faz com que haja uma busca constante por materiais alternativos menos agressivos ao meio ambiente. Neste aspecto o bambu se mostra muito pertinente, pois possui seção tubular, resultando em boa inércia, e boa resistência à tração e à compressão. O objetivo do trabalho é compreender, através de um estudo experimental, o comportamento mecânico de tesoura em bambu. Foi utilizada a espécie *Dendrocalamus giganteus* devido à existência de uma touceira de bambu no campus da UEL- Universidade Estadual de Londrina, e por ter diâmetro adequado para a construção da estrutura. Foram ensaiadas 5 tesouras. Como principal conclusão principal, constatou-se que o bambu tem potencial para ser utilizado como material estrutural de tesouras de edificações, desde que se reforcem as junções dos apoios das mesmas com concreto injetado e braçadeiras.

Palavras-chave: Estrutura em Bambu ; Tesouras; Estudo Experimental

Abstract

Civil construction is a highly consumer sector of the natural resources produced. This generates a constant search for alternative materials that are less aggressive to the environment. In this aspect, the bamboo is very relevant, because has a pipe section, resulting in a good inertia and good resistance to traction and compression. The goal of the work is, through a theoretical-experimental study, comprehend the behavior of a truss structure executed in bamboo. The species *Dendrocalamus giganteus* was used due to the existence of an agglomerate of bamboo trees on the campus of the Universidade Estadual de Londrina (State University of Londrina), and for having adequate diameter for the structure construction. Five trusses were tested. As a main conclusion, it was found that bamboo has a potential to be used as a structural material for building trusses, as long as the nodes junctions of the trusses are reinforced with injected concrete and clamps.

Keywords: *Bamboo Structure; Truss; Experimental Study*

1. Introdução

A O uso de materiais alternativos na construção civil mostra-se cada vez mais como a solução para o alto consumo de recursos naturais deste setor. Cerca de 50% dos recursos naturais produzidos são consumidos na construção civil (JOHN, 2000).

Neste cenário, o bambu se mostra muito vantajoso. Sua produção é abundante, e seu ciclo de produção para fins estruturais é curto (a partir de 3 anos). Além disso, possui um alto rendimento no sequestro de carbono, e também apresenta propriedades físicas, mecânicas, e geométricas, convenientes ao uso estrutural.

O bambu possui seção tubular, o que resulta em uma seção eficiente, pois gera uma alta inércia e um baixo peso próprio.

São poucas as pesquisas experimentais com tesouras de bambu. Destacam-se os trabalhos realizados por DE LIMA (2013), DE LIMA et. all. (2015), e SOARES (2013).

Neste trabalho se utilizou a espécie *Dendrocalamus giganteus*, encontrada no campus Universitário da UEL, que apresenta uma resistência média à compressão de 50 MPa, à tração de 120 MPa, e módulo de elasticidade de 25 GPa (CARBONARI et. all., 2016).

Embora o bambu contenha diversas características que favoreçam seu desempenho em uma estrutura, seu uso ainda é raro na construção civil brasileira, devido a fatores culturais e a ausência de normas técnicas reguladoras, além da facilidade ao ataque de insetos (fungos e carunchos) para os bambus não tratados.

Com base no exposto, neste trabalho será estudado, experimentalmente, o comportamento mecânico das ligações metálicas de tesouras de bambu, executas com barras roscadas, e carregadas na sua junção central superior.

2. Materiais e Métodos

2.1. Coleta do bambu

As varas de bambu foram coletadas na touceira de bambu do Campus Universitário da UEL. A escolha das varas foi realizada de acordo com critérios visuais de retitude e idade. Para mostrar as diferenças entre os bambus considerados adequados e não adequados, são apresentadas as fotos na Figura 1-A e Figura 1-B.

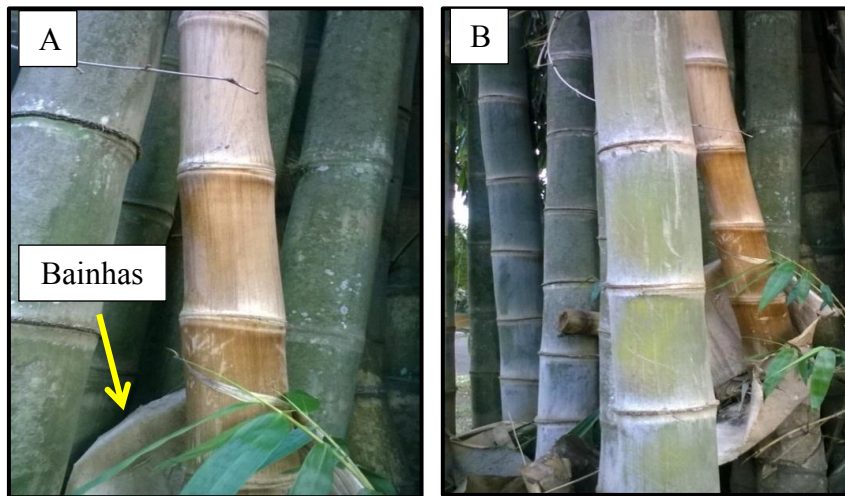


Figura 1 – Touceira de *Dendrocalamus* da UEL. Fonte: autores.

Na Figura 1-A observa-se que a vara de bambu apresenta uma cor mais amarelada, além da presença de bainhas. Isso caracteriza um bambu jovem, inadequado para ser utilizado para fins estruturais. Já na Figura 1-B tem-se um exemplo de vara considerada adequada, com uma coloração mais verde escuro.

2.2. Montagem das tesouras

As dimensões das tesouras foram definidas de modo que o transporte para a prensa, onde se realizou o ensaio, fosse facilitado. O comprimento máximo utilizado das barras foi de, aproximadamente, 3m, com altura de 1m, como se pode observar na Figura 2.

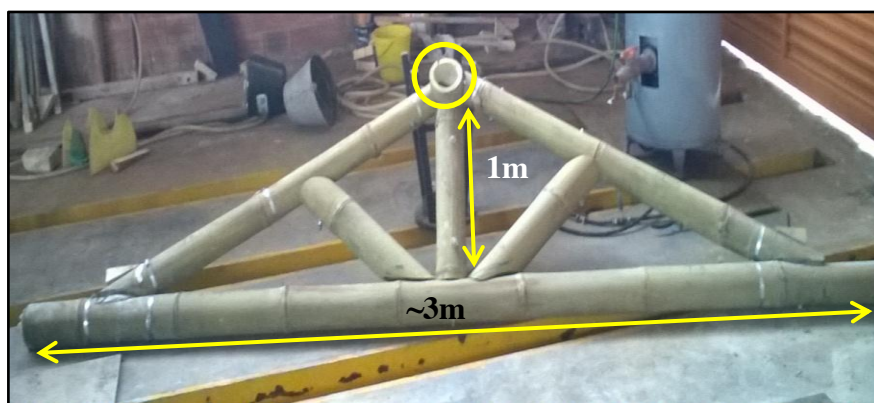


Figura 2 – Exemplo de tesoura. Fonte: autores.

Em destaque, na Figura 2, tem-se uma peça de bambu em sua junção superior. Ela foi utilizada com dupla função: como elemento de junção entre as barras da tesoura; e como ponto de aplicação das cargas durante o ensaio.

2.2.1. Aspectos gerais das ligações.

Foram ensaiadas cinco tesouras em bambu, cujas junções foram executadas com barras roscadas dobradas em gancho, ou retas, conforme se pode verificar nas fotos da Figura 3. Na Figura 3-A, está indicada a ligação das junções dos apoios da estrutura, executada por uma barra roscada. Além disso, no detalhe nota-se a presença de uma peça piramidal de madeira. Esta peça tem a finalidade de manter a barra roscada alinhada com o furo passante, mantendo a eficiência estrutural da ligação.

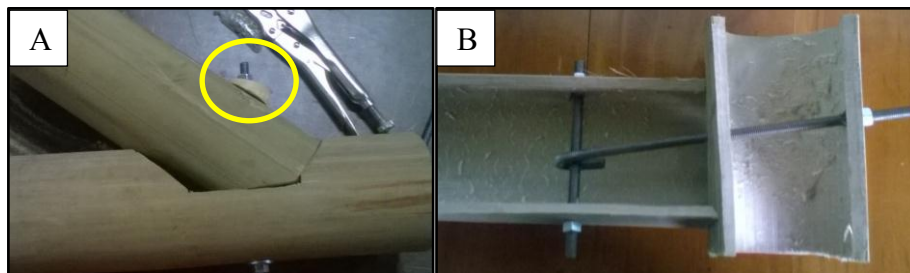


Figura 3 – Tipos de ligações. Fonte: autores.

O modelo de ligação da Figura 3-B foi utilizado nas demais ligações da tesoura, que é composto por dois elementos de barra roscada: uma de travamento e a outra como gancho.

2.2.2. Reforços nos apoios com abraçadeiras.

Após uma análise teórica geral da estrutura, ficou constatado que os pontos estruturais críticos seriam os apoios. Com isso, decidiu-se executar algumas tesouras com reforços nestes locais, e podem verificar a sua influência nos ensaios.

A primeira forma de reforço utilizada foi com abraçadeiras nas junções do apoio, como os mostrados na Figura 4. Esta forma de reforço foi utilizada na Tesoura 2 e na Tesoura 3.



Figura 4 – Reforço com abraçadeiras. Fonte: autores.

Observa-se na Figura 4 que as abraçadeiras foram dispostas em três pontos, todas próximas da ligação do apoio.

2.2.3. Reforço com abraçadeiras e concreto.

A segunda forma de reforço utilizada nos apoios foi a adição de concreto nas barras dos apoios, além do uso de abraçadeiras nestas barras.

Utilizou-se um concreto com traço 1:2:2, que foi injetado somente na região próxima aos apoios da tesoura. Esta forma de reforço foi utilizada na Tesoura 4 e na Tesoura 5.

Nas fotos da Figura 5 são mostrados o processo de retirada do diafragma, e a forma de injeção do concreto nos colmos de bambu.

Na Figura 5-A tem-se o processo de retirada do diafragma do colmo da barra. Esse procedimento foi necessário quando havia um colmo entre a barra rosca e a extremidade da ligação do apoio. A retirada do diafragma foi realizada parcialmente, visando fragilizar o mínimo possível a barra de bambu.



Figuras 5 – Retirada do diafragma do bambu e injeção de concreto. Fonte: autores.

Observa-se, na Figura 5-B, a injeção do concreto nas junções. Este processo foi realizado manualmente, tomando-se o cuidado de estancar a junção para evitar a perda da pasta do concreto (areia+cimento+água).

2.3. Ensaio das tesouras

Os ensaios das tesouras foram realizados no Laboratório de Estruturas da UEL. Utilizou-se, nestes ensaios, uma célula de carga de até 100 kN. O carregamento da estrutura foi regulado manualmente pelo Laboratorista.

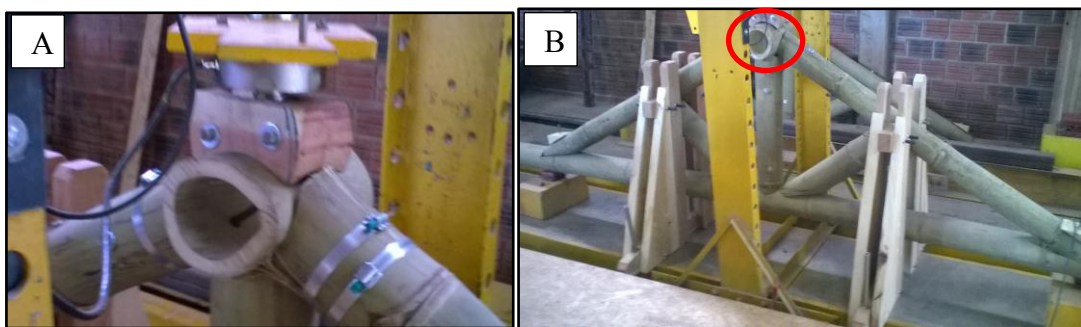
Para a execução dos ensaios, utilizaram-se pórticos triangulares de madeira, como os mostrados na Figura 6.



Figura 6 – Pórticos. Fonte: autores.

Nota-se, na Figura 6, que os pórticos foram fixados no piso do laboratório. Estes pórticos têm duas finalidades. A primeira, a de evitar o tombamento da estrutura, e a segunda, de atuar como contraventamento das tesouras, evitando que ocorressem efeitos de segunda ordem.

Para permitir uma aplicação de carga mais distribuída no elemento de bambu da junção superior da tesoura, foi utilizado um elemento de madeira, conforme pode-se ver nas fotos da Figura 7.



Figuras 7 – Detalhes da junção de aplicação da carga na tesoura. Fonte: autores.

Na Figura 7-A é mostrado o detalhe do elemento de madeira de base curvada, permitindo que o carregamento pudesse ser melhor distribuído na junção superior, composto por uma peça de bambu. Na Figura 7-B está indicada a localização da junção de aplicação do carregamento na estrutura.

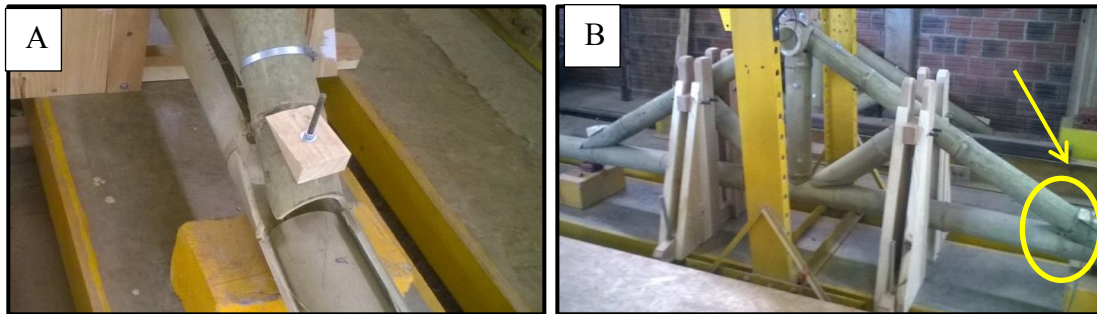
3. Resultados e Discussões

3.1. Tesoura sem reforço nos apoios.

O ensaio da primeira tesoura ocorreu com velocidade regulada manualmente pelo laboratorista.

Durante o ensaio, foram ouvidos ruídos provenientes da estrutura, causados pelo acomodamento das junções da tesoura, que se movimentavam pelas folgas dos encaixes.

Esta tesoura rompeu com uma carga de, aproximadamente, $8,5 \text{ kN}$. O local de ruptura foi na junção do apoio da tesoura, mostrado na Figura 8.



Figuras 8 – Ruptura da Tesoura 1. Fonte: autores.

Nota-se na Figura 8-A que o rompimento ocorreu por cisalhamento da barra horizontal da tesoura. Já na Figura 8-B pode-se ver a localização do ponto de ruptura na estrutura.

Durante o ensaio, pôde-se obter também o diagrama carga x deslocamento da estrutura, mostrado no Gráfico 1.

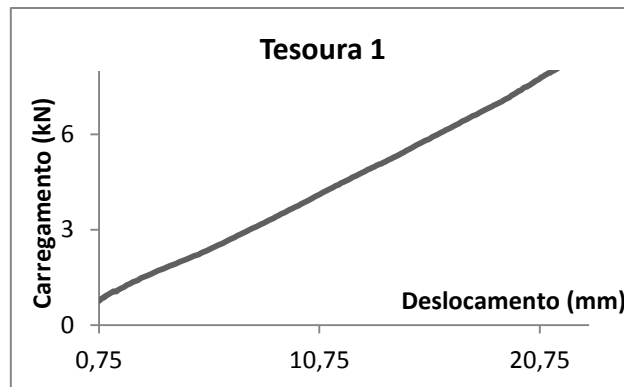


Gráfico 1 – Diagrama Carga x Deslocamento da Tesoura 1. Fonte: autores.

Observa-se no Gráfico 1 que o diagrama carga x deslocamento experimental é praticamente linear até a ruptura. Isso mostra que a estrutura apresentou um comportamento praticamente linear, conforme a Lei de Hooke.

3.2. Tesouras reforçadas com abraçadeiras nos apoios.

Ensaíram-se duas tesouras reforçadas somente com abraçadeiras em seus apoios, denominadas de Tesoura 2 e Tesoura 3. O diagrama experimental, referentes a Tesoura 2 reforçada com abraçadeiras, está indicado Gráfico 2.

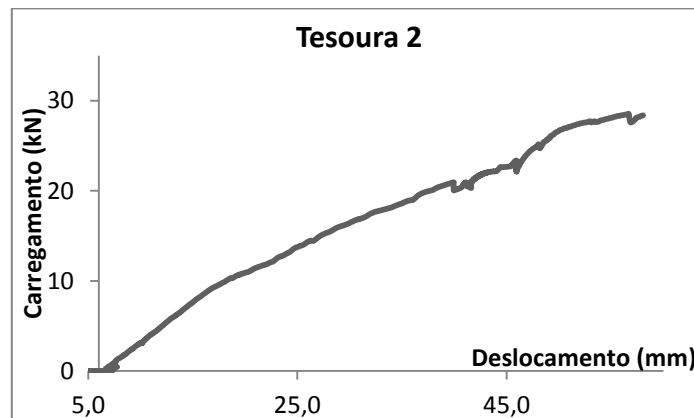


Gráfico 2 – Diagrama Carga x Deslocamento da Tesoura 2. Fonte: autores.

Considerando que a execução das junções das tesouras não são perfeitas, pode-se admitir que o comportamento mecânico da Tesoura 2 (Gráfico 2) também foi quase linear até a ruptura (29 kN), obedecendo a Lei de Hooke do material.

O diagrama experimental da Tesoura-3 é mostrados no Gráfico 3. Nota-se que a Tesoura 3 apresentou uma carga de ruptura inferior à anterior, e que a partir de uma carga de aproximadamente 11 kN não houve aumento de seu deslocamento, que atingiu o valor de, aproximadamente, 25 mm . Neste ponto, notou-se que o medidor de deslocamentos havia atingido seu limite do cursor.

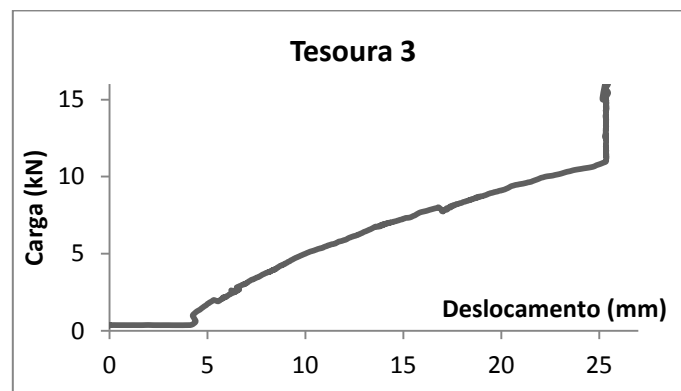
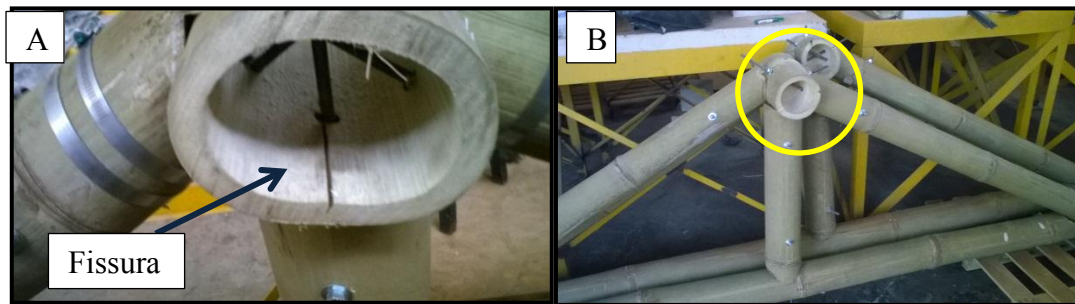


Gráfico 3 – Diagrama Carga x Deslocamento da Tesoura 3. Fonte: autores.

Observa-se também no Gráfico 3 que a Tesoura 3 também apresentou um diagrama carga x deslocamento quase linear até o limite, com leve curvatura até atingir o deslocamento de 25 mm .

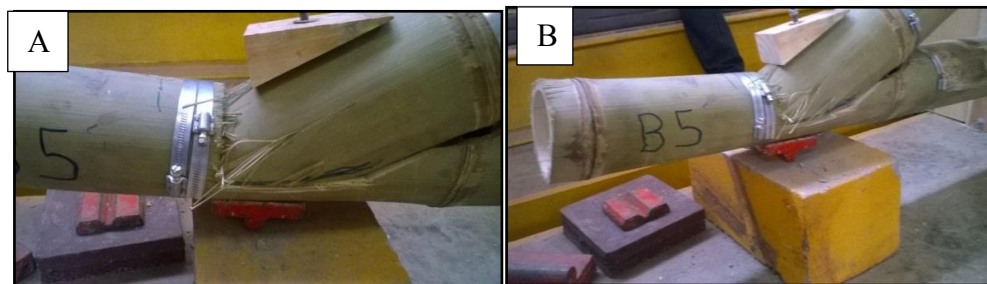
Ao analisar a tesoura após o ensaio, pôde-se concluir que o elevado deslocamento medido deformação ocorreu, principalmente, pela visível ruptura do colmo de bambu utilizado na junção carregada, mostrado nas Figuras 9.



Figuras 9 – Ruptura da junção superior central da Tesoura 3. Fonte: autores.

Observa-se, na Figura 9-A que, ao se romper o colmo da junção superior, fez com que gerassem deslocamentos adicionais ao das barras. Na Figura 9-B tem-se a localização da junção carregada da tesoura.

Outro motivo do elevado deslocamento medido na Tesoura 3, foi que, ao submeter-se ao carregamento, a barra diagonal esmagou a barra horizontal na junção do apoio, conforme pode-se observar nas fotos da Figura 10.



Figuras 10 – Esmagamento das junções dos apoios da Tesoura 3. Fonte: autores.

Pode-se observar nas referidas fotos da Figura 10 que a ponta das barras diagonais, ao deslizar para dentro da barra horizontal após o esmagamento, gerou um acréscimo importante nos deslocamentos medidos da tesoura.

3.3. Tesouras reforçadas com abraçadeiras e concreto nos apoios.

As Tesouras 4 e 5 foram as que tiveram os reforços de abraçadeiras e concreto nas regiões críticas das junções dos apoios da tesoura. Por isso tiveram as maiores cargas de ruptura.

O resultado experimental está apresentado no diagrama do Gráficos 4.

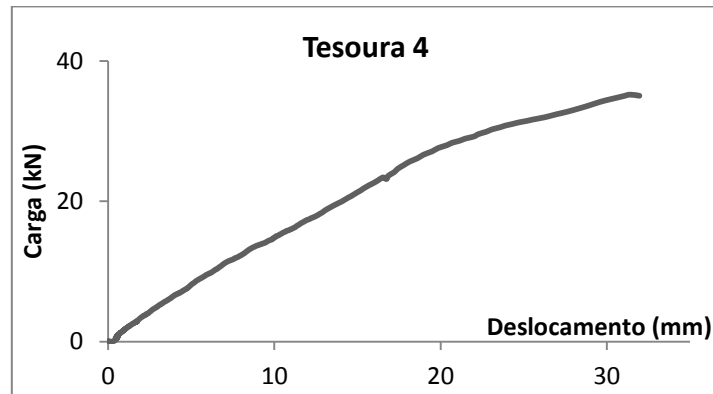
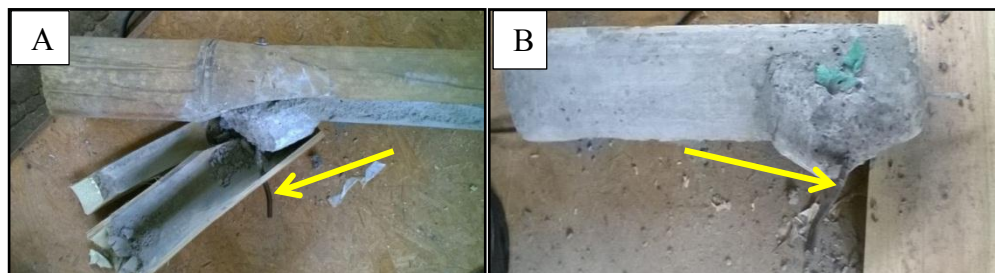


Gráfico 4 – Diagrama Carga x Deslocamento da Tesoura 4. Fonte: autores.

Pode-se observar no Gráfico 4, que até uma carga de aproximadamente 30 kN , o comportamento mecânico é quase linear. Após esta carga o diagrama fica não linear. Isso pode ser explicado por vários fatores. O principal deles pode estar relacionado com pequenas rachaduras das barras de bambu.

Após a execução dos ensaios, a Tesoura 4 foi desmontada para que se pudesse analisar o que havia ocorrido nas regiões com o reforço de concreto, cujas fotos estão mostradas na Figura 11.



Figuras 11 – Reforço dos apoios com concreto. Fonte: autores.

Observa-se nas referidas fotos que a barra rosca, utilizada para efetuar a ligação da junção do apoio, encontrava-se encurvada, indicando que houve um deslocamento nesta junção.

Da mesma que a Tesoura 4, no ensaio da Tesoura 5 obteve-se uma carga de ruptura bem superior em relação as Tesouras 1, 2 e 3, conforme se pode ver no Gráfico 5.

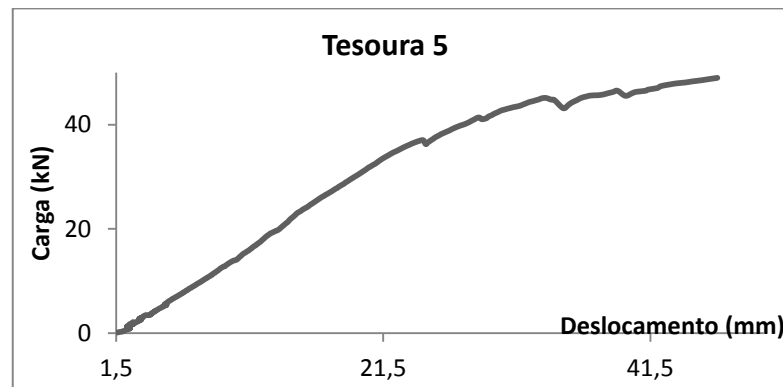
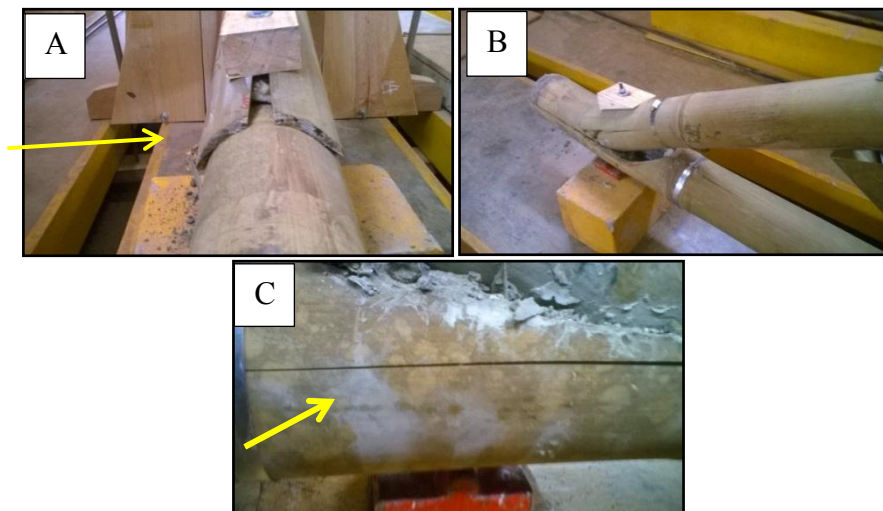


Gráfico 5 – Diagrama Carga x Deslocamento da Tesoura 5. Fonte: autores.

Conforme se pode observar no diagrama do Gráfico 5-A, a Tesoura 5 foi a que rompeu com maior carga dentre as tesouras ensaiadas. Assim como as outras tesouras, a tesoura 5 teve seu diagrama quase linear até uma carga de aproximadamente 35 kN . Após esta carga, se observa um comportamento mecânico não linear entre carga e deslocamento, similar ao que ocorreu no ensaio da Tesoura 4.

Nas fotos da Figuras 12 podem-se observar as fissuras ocorridas nas regiões dos apoios durante o ensaio.



Figuras 12 – Fissuras das junções dos apoios. Fonte: autores.

As fissuras, mostradas nas Figuras 12, determinam o limite de resistência da tesoura, provocando também o aumento nos deslocamentos das junções. Isso explica em parte o comportamento não linear na parte final dos diagramas carga x deslocamento (Gráficos 4 e 5).

Na investigação da situação dos apoios após o ensaio da Tesoura 5, observou-se que a barra roscada desta tesoura foi mais solicitada que a da Tesoura 4, conforme se pode constatar nas fotos da Figura 13.



Figuras 13 – Fissura do concreto. Fonte: autores.

Além da elevada flexão que apresentou as barras roscadas, observa-se nas fotos da Figura 13 que nas junções dos apoios da Tesoura 5 ocorreram fissuras no concreto, predominantemente na região em contato com a rosca metálica. Esta tesoura foi a que resistiu a maior carga solicitante, elevando o estado tensional nos apoios, de tal modo que o concreto utilizado na região atingisse seu limite de resistência.

3.4. Comparativo entre os diagramas experimentais das tesouras ensaiadas.

Os diagramas carga x deslocamentos obtidos durante os ensaios mecânicos das tesouras estão indicadas no Gráfico 6.

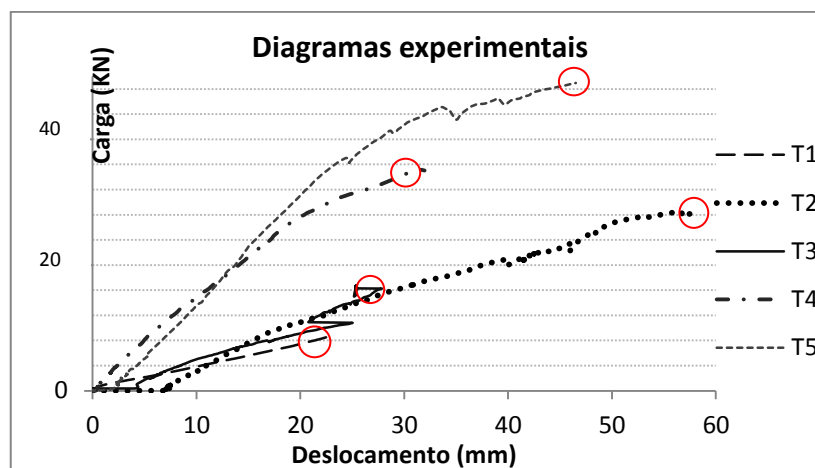


Gráfico 6 – Comparativo dos diagramas Carga x Deslocamento. Fonte: autores.

No referido gráfico pode-se observar que há um aumento gradual da carga de ruptura da Tesoura 1 para a Tesoura 5. Isso devido aos reforços utilizados nas junções dos apoios das Tesouras 2 e 3, que foram reforçadas com abraçadeiras, e das Tesouras 4 e 5 que foram reforçadas com concreto e abraçadeiras nas referidas junções.

Os reforços mais eficientes correspondem aqueles onde se utilizou concreto e abraçadeiras, possibilitando uma carga de ruptura média de, aproximadamente, 42 KN.

4. Conclusões

Observaram-se nos ensaios das tesouras que os pontos débeis da estrutura são as junções dos apoios, cujas rupturas estão associadas ao esmagamento e ao cisalhamento da referida região.

Para fins de ensaios, é necessário que o elemento utilizado na junção superior central tenha o diafragma natural do colmo de bambu, evitando que o mesmo sofra ruptura por esmagamento durante o carregamento das tesouras.

Como principal conclusão deste trabalho, destaca-se o ganho significativo de resistência das tesouras com reforço da região dos apoios com abraçadeiras e concreto. Como isso, se elevou substancialmente as cargas de ruptura.

Com base nas análises feitas, pôde-se concluir que a tecnologia estudada tem potencial para ser utilizada em estrutura de tesouras nas edificações.

Referências

CARBONARI, G., da SILVA JR, N. M., PEDROSA, N. H., ABE, C. H., SCHOLTZ, M. F., ACOSTA, C. C. V., CARBONARI, L. T.. Propriedades mecânicas de várias espécies de bambu. In: XV EBRAMEN - ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. Anais. Curitiba. 2016.

DE LIMA, D. M.. Bambu laminado colado (*Dendrocalamus giganteus*) aplicado à treliça plana tipo Howe e à viga retangular. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, CAA. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Recife, 234 p, 2013.

DE LIMA, D. M., AMORIM, M. M., LIMA JR, H. C., BARBOSA, N. P., WILRICH, F. L.. Avaliação do desempenho estrutural de treliças Howe de Bambu Laminado Colado. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 85-102, jul./set. 2015.

JOHN, VANDERLEY, M. Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo 2000, 113 p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SOARES, S. F. B. S.. Estruturas em bambu. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Departamento de Engenharia Civil. Porto, Portugal, 130 p., 2013.