

*Parte II: Manual do Usuários*

# BAMBU

## CONJUNTO PORTÁTIL PARA ENSAIO EM

Kent A. Harries & Rebecca Glucksman

Traduções por: Janine Vieira, Tianqiao Liu & Richard Moran



INBAR Relatório Técnico No.36

## Relatórios Técnicos do INBAR

Os relatórios técnicos do INBAR fornecem análises detalhadas de aspectos específicos da pesquisa em Rotim (Rattan) e bambu. Eles são baseados em resultados validados da pesquisa e/ou a partir de conhecimentos adquiridos pela INBAR ou pelas iniciativas de parcerias reconhecidas.

## Agradecimentos

Este projeto foi financiado pelo Laboratório de Engenharia Estrutural Watkins Haggart (WHSEL) da Universidade de Pittsburgh. O apoio ao estudante foi fornecido pelo Centro de Inovação Sustentável (Mascaro Center - MCSI), na Universidade de Pittsburgh através da Fundação Nacional de Ciência dos Estados Unidos (NSF) – Experiência Internacional em Pesquisa para Estudantes (IRES) – Programa (IIA-1031392). O projeto foi desenvolvido no verão de 2013 pelos alunos de graduação da Universidade de Pittsburgh: Rebecca Glucksman, Eric Belski, Andrew Beck e Steve Marusic. Os autores agradecem o apoio do Prof. Khosrow Ghavami da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RIO), do Charles Hager e da Jennifer Gottron do WHSEL.

## Palavras-chave

Colmo inteiro de bambu, caracterização de material, compressão, cisalhamento, flexão

## Copyright and Fair Use

Esta publicação é licenciado para uso sob a Creative Commons

Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 3.0 Não Adaptada (CC BY-NC-SA 3.0). Para visualizar esta licença, visita [http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.pt\\_BR](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.pt_BR)

### Você tem o direito de:

**Compartilhar** — copiar e redistribuir o material em qualquer suporte ou formato

**Adaptar** — remixar, transformar, e criar a partir do material

O licenciante não pode revogar estes direitos desde que você respeite os termos da licença.

### De acordo com os termos seguintes:

**Atribuição:** Você deve dar o crédito apropriado, prover um link para a licença e indicar se mudanças foram feitas. Você deve fazê-lo em qualquer circunstância razoável, mas de maneira alguma que sugira ao licenciante a apoiar você ou o seu uso.

**NãoComercial:** Você não pode usar o material para fins comerciais.

**Compartilhual:** Se você remixar, transformar, ou criar a partir do material, tem de distribuir as suas contribuições sob a mesma licença que o original.

**Sem restrições adicionais** - Você não pode aplicar termos jurídicos ou medidas de caráter tecnológico que restrinjam legalmente outros de fazerem algo que a licença permita.

Rede Internacional de Bambu e Rotim (INBAR)

PO Box 100102-86, Beijing, 100102, P. R. China

Tel: +86-10-6470 6161; Fax: +86-10-6470 2166; E-mail: [info@inbar.int](mailto:info@inbar.int)

ISBN: 978-92-95098-85-5 (Online)

©2016 INBAR – Rede Internacional de Bambu e Rotim

# Conteúdos

Conjunto Portátil para Ensaio em Bambu	2-4
Montagem	3
Indicador de Pressão e Conversão da Força no Conjunto de Ensaio	3
Métodos de Teste	5-11
Geometria do Corpo de Prova de Bambu	5
Ensaio de Compressão Centrada	6
Ensaio de Cisalhamento Longitudinal ('Teste Gravata Borboleta')	7
Ensaio de Compressão Diametral	8
Teste de Flexão	9
Referências	10

# Conjunto portátil para ensaio em bambu



O conjunto (kit) ilustrado na Figura 1, que se destina a uma rápida avaliação em campo das propriedades mecânicas do bambu, é projetado para ser um aparato de ensaio barato, robusto e portátil, que pode ser transportado, montado, operado e conservado por um único técnico. Com o conjunto é possível realizar os seguintes ensaios:

1. Compressão centrada do colmo inteiro de bambu (ISO 22157-1);
2. Cisalhamento longitudinal ('Teste gravata borboleta' ISO 22157-1);
3. Compressão diametral (Sharma et al., 2012);
4. Flexão do colmo (Modificado da ISO 22157-1 por Richard, 2013).

Este manual apresenta a fabricação de um conjunto de ensaios com a capacidade de carga de 72 kN (8 toneladas-força). As Figuras 2 e 3 apresentam os desenhos para fabricação do protótipo do conjunto.

## Figura 1: Protótipo do conjunto portátil para ensaios.

- a) Conjunto de ensaio (atuador hidráulico manual com 600 mm (24 pol) de comprimento)
- b) Montagem para ensaio de cisalhamento longitudinal
- c) Montagem para ensaio de flexão de colmos curtos

As placas de reação (parte #1 na Fig. 2) são fixadas com barras rosqueadas (parte #3) usando porcas e arruelas (parte #4). A placa de aplicação de carga (parte #2) se desloca livremente, guiada pelas barras rosqueadas. A base rosqueada do atuador hidráulico (macaco hidráulico tipo garrafa), (parte #5) é parafusada à placa de reação inferior. As placas de aplicação de carga 'gravata borboleta' (parte #7), a base para os ensaios de flexão (parte #8) ou qualquer placa espaçadora necessária são fornecidas com furos rosqueados e, posteriormente, são aparafusadas na placa de aplicação de carga e na placa de reação superior. As placas de reação e de aplicação de carga possuem orifícios concêntricos para ajudar a centralização dos corpos de prova sobre o atuador hidráulico.

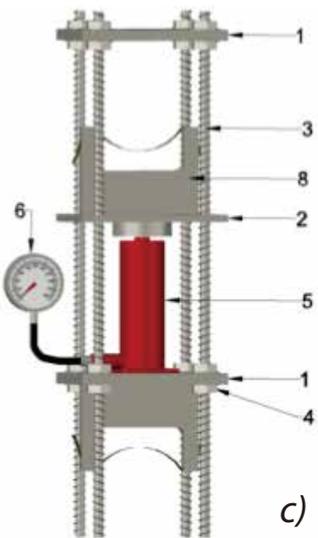
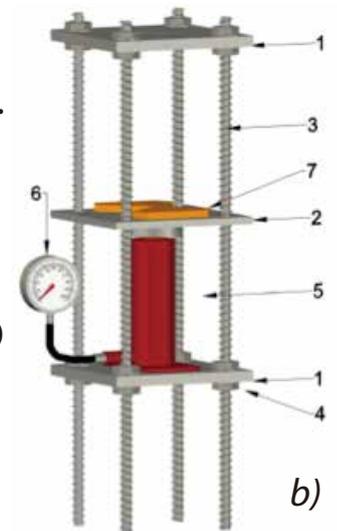
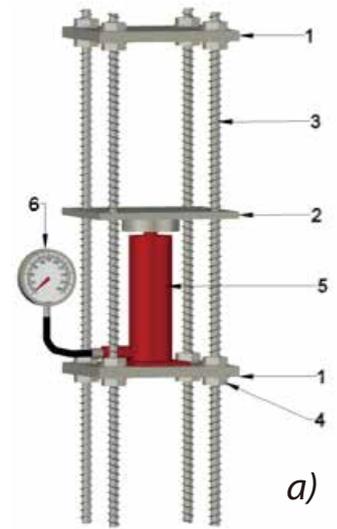
A extensão das barras rosqueadas abaixo da placa de reação inferior pode ser usada como apoio do conjunto de teste, de maneira a manter o conjunto suspenso. Neste caso, tubos são colocados como luvas nas barras rosqueadas para proteção dos fios das roscas (ver Fig. 1b).

## Montagem

**Figura 2: Montagens do protótipo do conjunto de ensaios.**

- a) Montagem para ensaios de compressão e compressão diametral
- b) Montagem para ensaio de cisalhamento longitudinal
- c) Montagem para ensaio de flexão

- 1. Placas de reação fixas de 254 x 254 x 19 mm (2 unidades, ver Fig 3a)
- 2. Placa de carga deslocável de 254 x 254 x 12.7 mm (ver Fig 3b)
- 3. Barras rosqueadas de 16 mm x 1000 mm (4 unidades)
- 4. Porca e arruela para as barras rosqueadas (16 conjuntos)
- 5. Atuador hidráulico tipo macaco garrafa com capacidade de 72 kN
- 6. Manômetro de alta precisão
- 7. Placa 'gravata borboleta' (dois conjuntos, ver Fig 3c)
- 8. Base para ensaio de flexão (duas unidades, ver Fig. 3d)



## Indicador de pressão e conversão da força no conjunto de ensaio

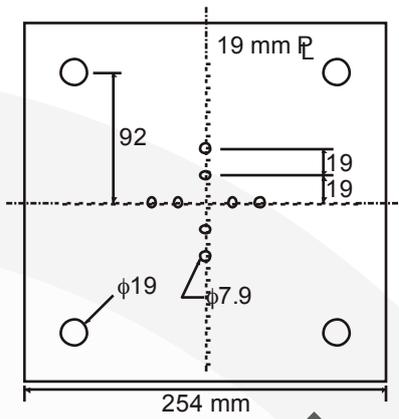
Um indicador de pressão deve ser acoplado ao atuador hidráulico. No protótipo é usado um manômetro precisão (parte #6). A força aplicada pelo atuador hidráulico é igual ao produto da pressão indicada no manômetro pela área da seção transversal do pistão do atuador hidráulico utilizado. Pode haver alguma perda de grau de atrito no cilindro associado com a vedação da haste do atuador com o cilindro. Isso pode ser minimizado e considerado no ensaio se um alternativo meio de calibração for disponível.

Para o protótipo, o diâmetro fornecido pelo fabricante é  $d_j = 38,1 \text{ mm}$  (1,5 pol), que resulta em uma área de  $A_j = \pi d_j^2 / 4 = 1140 \text{ mm}^2$  (1.77 pol<sup>2</sup>). Uma calibração utilizando uma célula de carga externa resultou em um fator de calibração de  $1090 \text{ mm}^2$  (1,69 pol<sup>2</sup>), indicando uma perda de atrito da ordem de 4,5% (valor razoável para o atuador hidráulico utilizado). A carga aplicada ( $P$ ) para qualquer ensaio é, portanto:

$$P \text{ (N)} = 1090 \times (\text{valor da pressão em MPa})$$

$$P \text{ (lbf)} = 1,69 \times (\text{valor da pressão em psi})$$

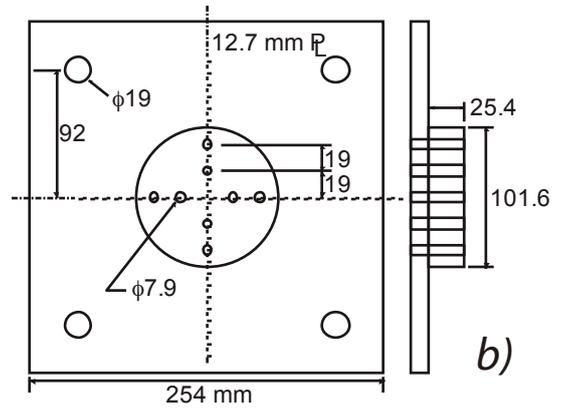
## Exemplo



a)

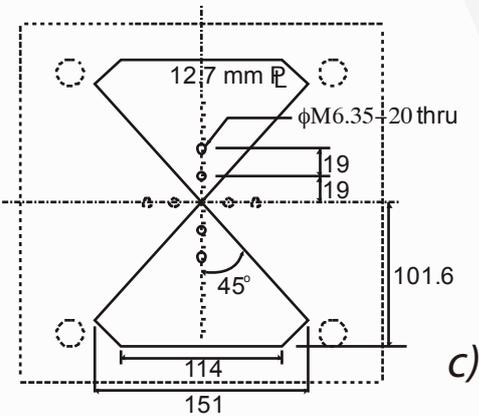
**Furação padrão central para coincidir com a placa de base do atuador hidráulico**

a) Placas de reação fixas (2 conjuntos; parte #1)



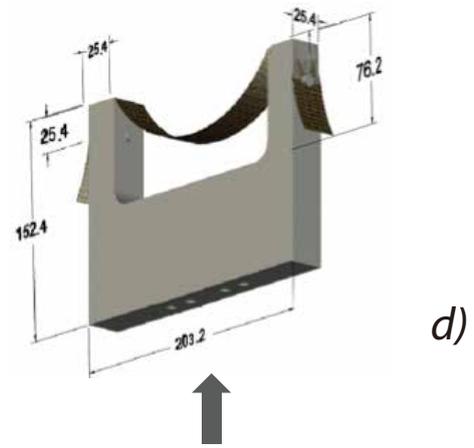
b)

b) Placa de carga deslocável (parte #2)



c)

c) Placas 'gravata borboleta' (2 conjuntos; parte #7)



d)

**Furação padrão para coincidir com a furação padrão central na Fig. 3a**

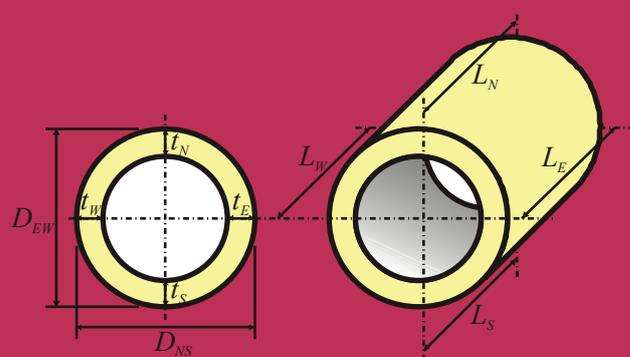
d) Base de flexão (2 conjuntos; parte #8)

**Figura 3: Detalhes das placas do protótipo do conjunto de ensaios.**

# Métodos de Teste



## Geometria do corpo de prova de bambu



$$D = (D_{NS} + D_{EW})/2$$

$$t = (t_N + t_S + t_E + t_W)/4$$

$$L = (L_N + L_S + L_E + L_W)/4$$

$$A_{colmo} = (\pi/4) (D^2 - (D - 2t)^2)$$

$$I_{colmo} = (\pi/64) (D^4 - (D - 2t)^4)$$

$$R = 0.5 (D - t)$$

As dimensões a seguir são obtidas a partir das amostras de ensaio:

- $D$  = diâmetro externo do colmo a partir da média de duas medidas ortogonais, em qualquer seção
- $t$  = espessura da parede do colmo a partir da média de quatro medidas de um quadrante, em qualquer seção
- $L$  = comprimento do corpo de prova (colmo) a partir da média de quatro medidas de um quadrante

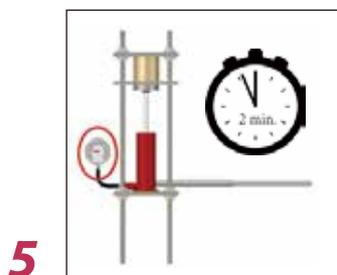
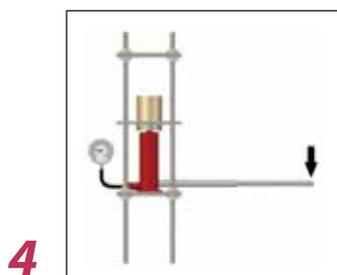
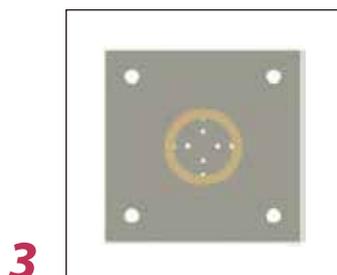
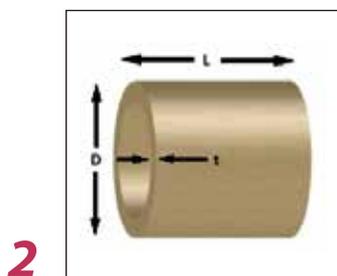
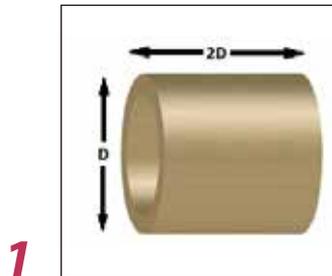
As propriedades geométricas a seguir são calculadas:

- $A_{colmo}$  = área líquida da seção transversal do colmo
- $I_{colmo}$  = momento de inércia da seção transversal do colmo
- $R$  = raio do colmo medido até o eixo da parede do colmo

Adicionalmente,

- $P$  = carga aplicada pelo conjunto de teste correspondente a ruptura do corpo de prova

# Ensaio de Compressão Centrada



## Montar o conjunto de ensaio como mostrado.

1. Cortar a amostra de modo que o comprimento seja  $L \leq 2D$ . As extremidades dos corpos de prova devem ser uniformes, paralelas entre si e perpendiculares ao eixo do colmo. Não deve haver nós nos corpos de prova. São esperados que corpos de prova que contenham nós apresentem baixa resistência.

2. Obter as dimensões  $D$ ,  $t$  e  $L$  do corpo de prova do colmo. Calcular a área do colmo:

$$A_{colmo} = (\pi/4) (D^2 - (D - 2t)^2)$$

3. Centralizar a amostra de colmo acima do atuador hidráulico sobre placa de aplicação de carga.

4. Ajustar o conjunto até que o colmo entre em contato com a placa de reação superior.

5. Iniciar o teste, carregar a amostra com uma taxa que resulte na ruptura após aproximadamente dois minutos (um teste inicial poderá ser necessário para calibrar essa taxa).

6. Anotar a carga de ruptura  $P$ .

7. Calcular a tensão máxima de compressão:

$$\sigma_c = P/A_{colmo}$$

Relatar o seguinte:

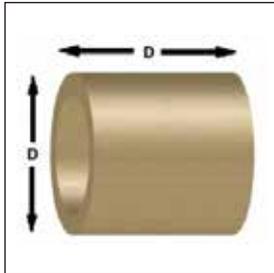
- Dimensões medidas  $D$ ,  $t$  e  $L$ ;
- Carga de ruptura observada  $P$ ;
- Valores calculados de  $A_{colmo}$  e  $\sigma_c$ ;
- Curva de tensão versus deformação e o valor calculado de  $E_c$ , caso os valores tenham sido aqisitados.

# Ensaio de Cisalhamento Longitudinal (‘Teste Gravata Borboleta’)

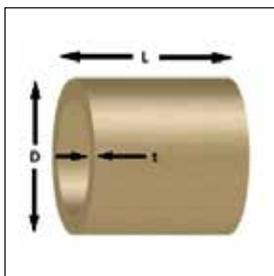
*Montar o conjunto de teste como mostrado incluindo as placas tipo ‘gravata borboleta’. Assegurar que as placas tipo ‘gravata borboleta’ estejam orientadas em direções opostas em cada placa.*



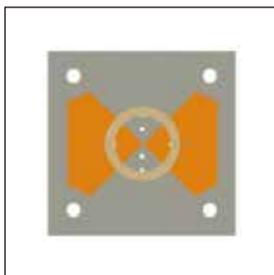
1



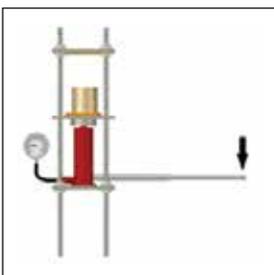
2



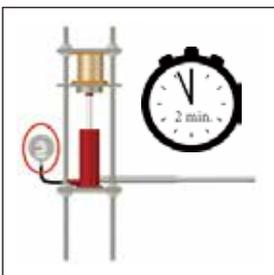
3



4



5



1. Cortar a amostra com comprimento tal que  $L = D$ . As extremidades dos corpos de prova devem ser uniformes, paralelas entre si e perpendiculares ao eixo do colmo. Não deve haver nós nos corpos de prova. São esperados que corpos de prova que contenham nós apresentem maiores resistên-

2. Obter as dimensões  $D$ ,  $t$  e  $L$  dos corpos de prova do colmo.

3. Centralizar o corpo de prova de colmo acima do atuador hidráulico na placa de carga tipo ‘gravata borboleta’.

4. Ajustar o conjunto até que o colmo entre em contato com a placa de reação superior

5. Iniciar o teste, carregar a amostra com uma taxa que resulte na ruptura após aproximadamente dois minutos (um teste inicial poderá ser necessário para calibrar essa taxa).

6. Anotar a carga de ruptura  $P$ .

Anotar o número de planos de cisalhamento observados  $n$ .

7. Calcular a tensão de cisalhamento

$$\tau_L = P / 4Lt$$

$n < 4$  indica que a tensão de cisalhamento calculada é um valor no limite inferior para a amostra ensaiada.

Relatar o seguinte:

- Dimensões medidas  $D$ ,  $t$  e  $L$ ;
- Carga de ruptura  $P$  e o número de planos de cisalhamentos,  $n$ , observados;
- Valor calculado de  $\tau_L$

# Ensaio de Compressão Diametral

1. Cortar os corpos de prova com comprimento de maneira que  $L \approx D$ . Não deve haver nós nos corpos de prova.

2. Obter as dimensões  $D$ ,  $t$  e  $L$  do corpo de prova do colmo.

3. Posicionar uma tira de uma madeira macia fina e plana ou neoprene como calço na placa de carga que está sobre o atuador hidráulico.

4. Centralizar o corpo de prova do colmo sobre o atuador hidráulico de maneira que o eixo longitudinal do colmo esteja alinhado eixo longitudinal do calço.

5. Posicione um segundo calço ao longo do topo do corpo de prova paralelo ao calço inferior (alinhado ao longo do eixo longitudinal do colmo).

6. Ajustar até que o conjunto (colmo e tiras) entre em contato com a placa de reação superior.

7. Iniciar o teste, carregar a amostra com uma taxa que resulte na ruptura após aproximadamente dois minutos (um teste inicial poderá ser necessário para calibrar essa taxa).

8. Anotar a carga de ruptura  $P$ .

9. Calcular os momentos longitudinais em quadrantes:

$$M_{NS} = \left( \frac{PR}{\pi} \right) \left( 1 - \frac{t^2}{12R^2} \right) \quad M_{EW} = \left( \frac{PR}{\pi} \right) \left( 1 - \frac{t^2}{12R^2} \right) - \frac{PR}{2}$$

10. Calcular o módulo de ruptura transversal da parede:

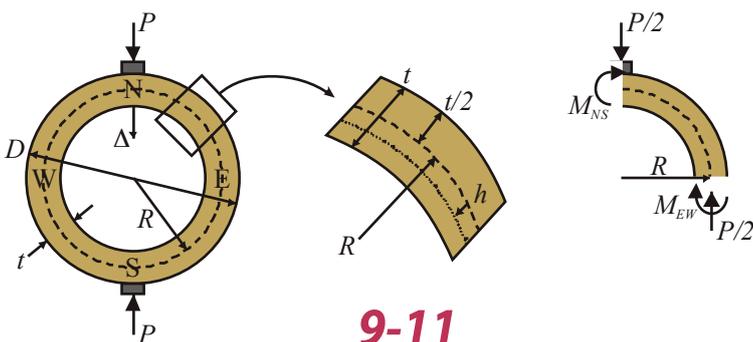
$$f_{rNS} = M_{NS} \frac{12(t/2 + h)}{Lt^3} \quad f_{rEW} = M_{EW} \frac{12(t/2 + h)}{Lt^3} - \frac{P}{2Lt}$$

no qual:  $h = R - t / \ln \left( \frac{2R}{t} + 1 / \frac{2R}{t} - 1 \right)$

11. Se a deflexão vertical ( $\Delta$ ) foi medida, o módulo de elasticidade (tangente) aparente transversal é calculado como:

$$E_{\varphi} \approx \frac{3PD^3}{2Lt^3\Delta} \left( \frac{\pi k_1}{4} - \frac{2k_2}{\pi} \right)$$

no qual:  $k_1 \approx 1 + \frac{7.6t^2}{D^2}$  e  $k_2 = 1 - \frac{t^2}{3D^2}$

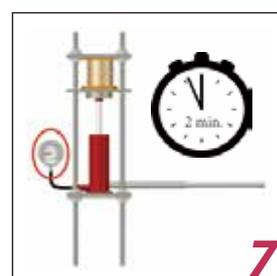
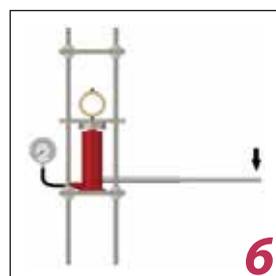
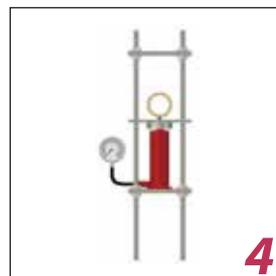
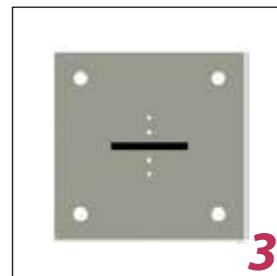
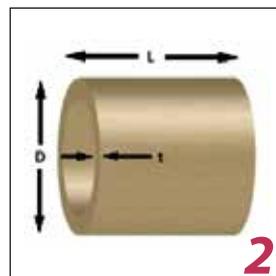
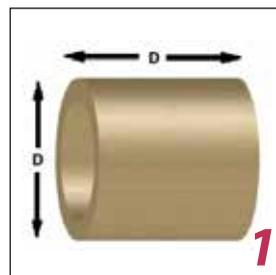


9-11

## Montar o conjunto de ensaio como mostrado.

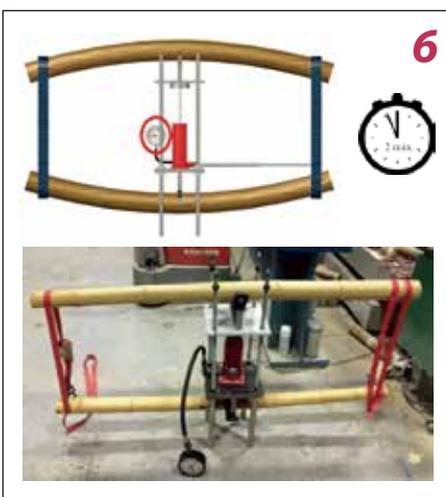
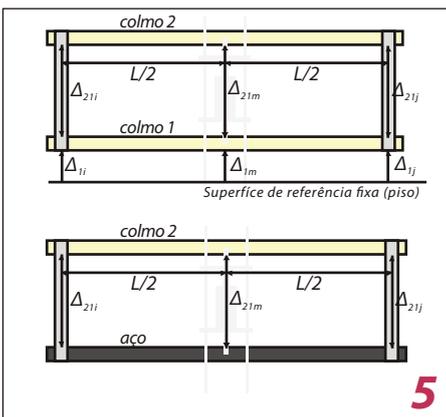
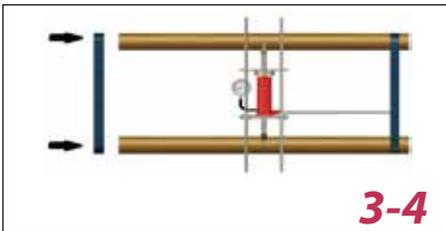
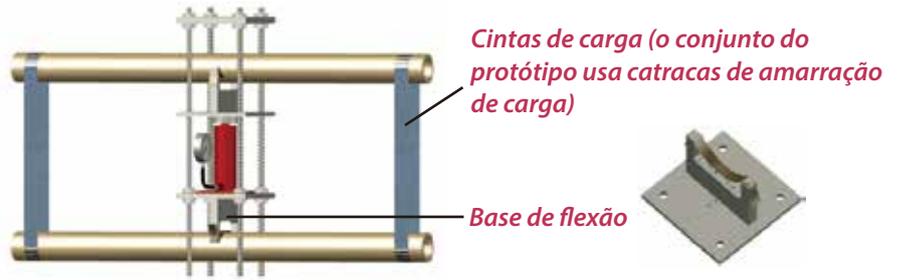
Relatar o seguinte:

- Medidas das dimensões  $D$ ,  $t$  e  $L$ ;
- Carga de ruptura observada  $P$ ;
- Valores calculados de  $M_{NS}$ ,  $M_{EW}$ ,  $f_{rNS}$ ,  $f_{rEW}$  e  $E_{\varphi}$



Montar o conjunto de ensaio como mostrado colocando as bases de flexão na placa de carga e na placa de reação inferior. Dois conjuntos de cintas de carga (pode-se utilizar também catracas de amarração de carga) e dois colmos similares são posicionados no conjunto como mostrado. Alternativamente, um dos colmos pode ser substituído por um tubo de aço (ou similar) para proporcionar a reação necessária, aumentar a rigidez do sistema e proporcionar um meio de calcular a deflexão de parte do sistema auto reativo.

## Teste de Flexão



1. Cortar o corpo de prova com o comprimento desejado. De acordo com a norma ISO 22157,  $L > 20D$ . Embora essa condição não seja obrigatória, os resultados do ensaio são somente comparáveis com outros resultados obtidos com a mesma relação  $L/D$ .

2. Obter as dimensões  $D$ ,  $t$  e  $L$  do corpo de prova do colmo. Calcular  $I_{\text{colmo}}$ :

$$I_{\text{colmo}} = (\pi / 64) (D^4 - (D - 2t)^4)$$

3. Centralizar os colmos nas bases de flexão e posicionar as cintas em torno das extremidades dos colmos equidistantes das bases de flexão (isto é, a base de flexão é posicionada no comprimento médio dos colmos).

4. Estender o pistão hidráulico até que os colmos estejam paralelos e bem ajustados às cintas; ajustar os comprimentos das cintas até que os colmos estejam paralelos mantendo-os equidistantes das bases de flexão.

5. Medir o comprimento do colmo em ensaio,  $L$ , que é a distância entre os eixos das cintas. Verificar se as bases de flexão estão posicionadas no meio do vão,  $L/2$ .

Métodos para os cálculos dos deslocamentos de cada colmo individualmente.

a) dois colmos de bambu auto reativos:

deslocamento no meio do vão do colmo 1:

$$\Delta_1 = 0.5 (\Delta_{1i} + \Delta_{1j}) - \Delta_{1m}$$

desplazamiento en la mitad del colmo 2:

$$\Delta_2 = \Delta_{21m} - 0.5 (\Delta_{21i} + \Delta_{21j}) - \Delta_1$$

b) usando um elemento reativo conhecido (aço ou outro material):

deslocamento no meio do vão do tubo de aço:

$$\Delta_1 = PL^3 / 48 E_{\text{steel}} I_{\text{steel}}$$

deslocamento no meio do vão do colmo 2:

$$\Delta_2 = \Delta_{21m} - 0.5 (\Delta_{21i} + \Delta_{21j}) - \Delta_1$$

6. Iniciar o teste, carregar a amostra com uma taxa que resulta na ruptura em aproximadamente dois minutos (um teste inicial poderá ser necessário para calibrar essa taxa).

7. Anotar a carga de ruptura  $P$ , correspondente à ruptura do primeiro colmo.

8. Calcular a máxima tensão de flexão aparente:

$$\sigma_f = PLD / I_{\text{colmo}}$$

9. Se a deflexão no meio do vão do colmo foi medida ( $\Delta$ ), o módulo de elasticidade aparente na flexão é calculado como:

$$E_a = PL^3 / 48 \Delta I_{\text{colmo}}$$

Relatar o seguinte:

- Dimensões medidas de  $D$ ,  $t$  e  $L$ ;
- Carga de ruptura observada  $P$ ;
- Valor calculado de  $\sigma_f$ ;
- Método de determinação do deslocamento  $\Delta$ , se foi medido;
- Valor calculado de  $E_a$ , se for o caso.

# Referências

International Organization for Standardization (ISO) (2004b) ISO 22157-1:2004(E), Bamboo – Determination of Physical and Mechanical Properties – Part I: Requirements. Geneva.

International Organization for Standardization (ISO) (2004c) ISO 22157- 2:2004(E), Bamboo – Determination of Physical and Mechanical Properties – Part II: Laboratory Manual. Geneva.

Richard, M. (2013) Assessing the Performance of Bamboo Structural Components Doctoral Dissertation, University of Pittsburgh.

Sharma, B., Harries, K.A. and Ghavami, K. (2012) Methods of Determining Transverse Mechanical Properties of Full-Culm Bamboo, *Journal of Construction and Building Materials*, 38, 627-637.



A Organização Internacional de Bambu e Rotim (Rattan) – INBAR é uma organização intergovernamental fundada em 1997 a partir do tratado consolidado junto as Nações Unidas e instalada em Pequim, China. É a única organização intergovernamental sediada na China. Atualmente, INBAR tem 41 Estados-membros, incluindo a maioria dos países do Sul Global com recursos em bambu e rotim (rattan). Desde sua criação, há duas décadas, INBAR tem desenvolvido projetos em mais de 20 países, e tem proporcionado capacitação e sensibilização quanto ao uso produtivo do bambu e rotim (rattan) em mais de 80 países. Hoje, o programa internacional INBAR é coordenado pela sede em Pequim e colocado em ação através dos escritórios nacionais e regionais na China, Equador, Etiópia, Índia e Gana. Na INBAR atua uma equipe internacional de profissionais, especialistas em bambu e rotim (rattan), silvicultura e gestão de recursos naturais, “serviços de ecossistema”, socioeconomia, capacitação e compartilhamento da informação.



A Universidade de Pittsburgh (Pitt) é um instituto de pesquisa localizada no oeste da Pensilvânia. Fundada em 1787, Pitt é a casa de 35,000 estudantes e mais de 5000 professores. A Escola de Engenharia (Swanson School of Engineering) possui parceria, juntamente com a Universidade Sichuan em Chengdu - China, com a Universidade Sichuan - Instituto Pittsburgh desenvolvendo uma parceria inovadora de educação e pesquisa. O programa de pesquisa em bambu desenvolvido no Laboratório de Estruturas (Watkins Haggart Structural Engineering Laboratory) foi iniciado em 2005 e é o laboratório preeminente para este tipo de pesquisa na América do Norte. O principal objetivo do programa de pesquisa em bambu em Pitt é determinar a estrutura e as ferramentas necessárias para avaliar o material e as propriedades mecânicas de um colmo inteiro de bambu. O objetivo deste programa de pesquisa visa estabelecer a padronização do material – colocando-o em igualdade com a madeira, considerada como um material de construção convencional. O programa de pesquisa em bambu fixou parcerias no Reino Unido, Brasil, China, Colômbia, Índia e Indonésia.

Produtor & Designer: Liu Kewei