

## 6.

# Conclusões Recomendações e Sugestões para Trabalhos Futuros

### 6.1. Conclusões

Os estudos ora realizados permitiram avaliar a possibilidade de se produzir elementos especiais em materiais compósitos para treliças espaciais, utilizando o bambu como matéria prima principal. Os materiais compósitos a serem utilizados foram definidos, produzidos e ensaiados, estabelecendo, com o auxílio de dados da literatura, parâmetros para a execução dos componentes. Foram elaboradas técnicas e ferramentas tanto para a confecção dos materiais e corpos-de-prova como para os ensaios. Todos os materiais e elementos produzidos podem ser reciclados, reduzindo o consumo de materiais a longo prazo e evitando o descarte de produtos químicos na natureza.

Foram desenvolvidas ligações em bambu laminado contraplacado da espécie *Dendrocalamus giganteus*, ponteiras conectadoras com buchas conformadas em tronco de cone constituídas de material compósito de matriz polimérica (poliéster) com adição de particulado de bambu proveniente do processo de laminação e elementos de barra em bambu da espécie *Phyllostachys aurea*, transversalmente reforçados com material compósito de matriz polimérica (poliéster) com inserção de fibras longas de sisal trefilado. As ligações e ponteiras passaram por um planejamento elaborado de montagem e produção para viabilizar a confecção em escala industrial. Os nós apresentaram resistência à tração de aproximadamente 10kN com rupturas locais, o que reduz a interferência na resistência entre os diversos eixos de solicitação. As ponteiras funcionam com sistema de cone Morse, adotando um sistema de aperto composto por uma bucha com paredes inclinadas, uma capa de ponteira e um conjunto de parafuso e porca de aperto, propiciando facilidade de montagem e um sistema de travamento mecânico resistente tanto à tração quanto à compressão. As barras reforçadas de bambu apresentaram ganho de resistência e tenacidade à compressão, bem como alteraram o modo de ruptura dos colmos, impedindo as trincas longitudinais e o fendilhamento, falhando por flambagem

local das paredes. O reforço possui ainda as vantagens de: impermeabilizar o colmo, diminuindo a variação dimensional devida à oscilação dos teores de umidade, bem como aumentando a eficiência de tratamentos contra o ataque de parasitas; proteger o bambu dos raios ultravioleta, retardando a degradação da lignina; permitir a variabilidade de acabamentos podendo-se adicionar ou não pigmentos variados à resina, bem como proceder aos mais diversos tipos de pintura sob processos convencionais bem conhecidos da indústria. Os elementos elaborados são passíveis de industrialização ou manufatura em larga escala, estocagem e comercialização no mercado formal, favorecendo a convencionalização do bambu como material de construção.

Foram elaborados modelos, via programa comercial de elementos finitos, de diferentes geometrias de estruturas reticuladas espaciais utilizando os elementos desenvolvidos, tomando como parâmetro os ensaios realizados, dados obtidos em bibliografia e legislação específica de dimensionamento estruturas e carregamentos devidos ao vento, através dos quais estimou-se a possibilidade de vencer vãos de até doze metros em estruturas planas vinculadas aos bordos e áreas cobertas de até 324m<sup>2</sup>, apoiadas sobre quatro pilares, gerando vãos de nove metros e balanços perimetrais de quatro metros e meio. Foi ainda gerado um modelo de reticulado espacial curvo, avaliado sob carregamento estático, ilustrando a variabilidade formal permitida pelo sistema estrutural proposto.

## 6.2. Recomendações

Para trabalhos futuros algumas recomendações se fazem necessárias:

- A adoção de extensômetros elétricos do tipo strain gage é imprescindível para a avaliação local das deformações e definição correta das relações constitutivas dos materiais, não bastando o uso de RDLs e LVDTs para tanto;
- Corpos-de-prova de tração de bambu laminado contraplacado devem ter a zona de estrição um pouco mais larga, facilitando a fabricação (principalmente para compósitos laminados com orientações diversas dos eixos principais do corpo-de-prova, como no caso) e produzindo resultados mais confiáveis. Como alternativa para estes ensaios recomenda-se a adoção da norma ASTM D 1037-99 (Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials) ou uma

proposição dela derivada, considerando que, no caso, o modelo de corpo-de-prova para ensaio à tração apresenta uma secção consideravelmente mais larga (aproximadamente 32mm) e portanto avaliaria melhor o corpo-de-prova quanto ao cisalhamento interlaminar;

- Os polímeros sintéticos utilizados devem ser substituídos por polímeros naturais, como a resina de poliuretano proveniente do óleo de mamona, que além de possuir resistência satisfatória e permitir a reciclagem, favorece um eventual descarte por ser biodegradável;
- Os compósitos poliméricos com adição de particulado proveniente da laminação do bambu devem ser dosados por peso ao invés de volume e sofrer estabilização mecânica possibilitando o aumento da resistência a compressão do material e a redução do consumo de resina;
- As cordoalhas de sisal utilizadas no reforço transversal dos colmos de bambu devem ter seu diâmetro reduzido e sofrer tratamento para aumentar a molhabilidade e integração com o material polimérico constituinte da matriz.

### 6.3.

#### **Sugestões para trabalhos futuros**

- Deve ser elaborado um material semelhante ao compósito particulado bambu-poliéster, utilizando matriz polimérica natural em proporção inferior à ora testada, porém com o uso de formas metálicas e estabilização mecânica por compressão, o que tende a tornar o material mais resistente e sustentável;
- Devem ser feitos mais ensaios à compressão de bambu reforçado, permitindo a análise estatística para a avaliação do ganho real de resistência proporcionado pelo sistema;
- Deve-se considerar a elaboração de um reforço no topo dos planos definidores dos nós de bambu contraplacado, principalmente ao redor dos componentes laterais, cujas ensambladuras são passíveis de solicitação direta à tração, a ser executado com um compósito de fibras longas, de modo a não somente aumentar a sua resistência a esta solicitação em todos os sentidos (embora isto tenda a provocar interdependência comportamental) como também aumentar a segurança da estrutura, tornando o seu modo de falha mais tenaz. Pode-se ainda estudar a colocação de tecidos resistentes de malha ortogonal entre as camadas de

bambu com orientação intermediária ( $0^\circ$  e  $90^\circ$ ), de maneira a diminuir a solicitação a cisalhamento do material e proporcionando um incremento na resistência à tração do elemento;

- Os nós devem ser ensaiados à compressão para permitir parâmetros adequados de projeto e estabelecer a carga máxima suportada pelos elementos;
- Devem ser adotados e ensaiados o “sistema ideal de ponteira” (Figura 86) e o “sistema de pinça ideal” (ou outros que corrijam os defeitos de projeto cometidos nos atuais), em lugar dos ora produzidos, de preferência com o uso concomitante de adesivo (que pode também ser proveniente do óleo de mamona) na instalação;



Figura 86: Sistema de ponteira ideal, com inclinação de  $6^\circ$  capa de ponteira em tronco de cone mais longa, sistema de aperto invertido (mantendo a conexão externa regularmente posicionada) e exemplos de aplicação a colmos com parede de 7 e 5mm respectivamente, antes do pré-tensionamento.

- No caso do uso em estruturas permanentes, o sistema de ponteira poderia funcionar ainda melhor se fosse utilizado algum adesivo na sua fixação, de modo que fossem reduzidos os deslocamentos da ponteira submetida à tração;
- Pode-se considerar a substituição de alguns dos elementos de aço componentes da ponteira e da pinça por outros materiais, de preferência compósitos ou plásticos reciclados;

- Os elementos de barra reforçados devem ser ensaiados com diferentes comprimentos, estabelecendo suas respectivas cargas críticas de flambagem;
- Deve ser ensaiado o sistema estrutural completo, permitindo a comparação com outros anteriormente executados e a observação do comportamento global da estrutura e a definição das suas vulnerabilidades.