

3 BAMBU

A conscientização global com o alto consumo de energia e o conseqüente aumento da poluição vêm levando o meio acadêmico a pesquisar materiais de origem natural que possam substituir produtos industrializados utilizados na construção civil. Devido a sua grande resistência à tração, facilidade no plantio e rapidez de crescimento o bambu vem sendo estudado como um dos materiais alternativos na construção civil (Ghavami, 1988a e b; Ghavami 1995; Ghavami, 2001a; Ghavami, 2001b; Ghavami et al. 2002; Ghavami et al., 2003; Moreira, 2001; Moreira, 2002). Na PUC-Rio, desde 1979, estudos sobre este e outros materiais não convencionais vêm sendo desenvolvidos, motivados pela escassez de habitações populares no Brasil e em outros países em desenvolvimento. De fato, o baixo custo e a baixa energia de produção do bambu o caracterizam como um material ecologicamente amigável sendo ideal para habitações de baixo custo.

O bambu pertence à família das gramíneas (*Poaceae*), subfamília *bambusoideae* (Lopez, 2003). Este vegetal pode ser considerado como um material compósito natural no qual a lignina atua como matriz e as fibras de celulose como reforço. A lignina é um armazenador de energia sendo responsável pela transferência de tensões entre as fibras (Jain et al., 1992). As fibras de celulose promovem grande resistência à tração, à flexão e rigidez na direção longitudinal do bambu. A fração volumétrica destas fibras varia ao longo da seção transversal do bambu, sendo que na parte mais externa a fração volumétrica é maior em relação à parte mais interna (Ghavami, 2003). Quando a seção transversal do bambu é cortada, vários pontos de cor escura podem ser observados. Esses pontos são feixes de fibras circundados por canais vasculares. A estrutura anatômica da seção transversal é determinada pelo formato, tamanho, disposição e número de canais vasculares como pode ser visto na figura 3.1. Estes são compostos por tecidos ditos mecânicos, os quais são formados por fibras e por vasos condutores sendo estes formados por dois vasos, o metaxilema e o floema, e pela protoxilema que são as artérias principais. Os vasos vasculares são cercados

por células parenquimatosas. A espessura da parede do colmo decresce da base até o seu topo, devido à redução de sua parte interna, contendo mais vasos parenquimáticos e menos vasos vasculares. A parte superior do colmo que contém mais vasos vasculares e menos parenquimáticos, possui maior densidade. Assim, as resistências à tração e à flexão aumentam com o aumento da altura do bambu (Lopez, 2003).

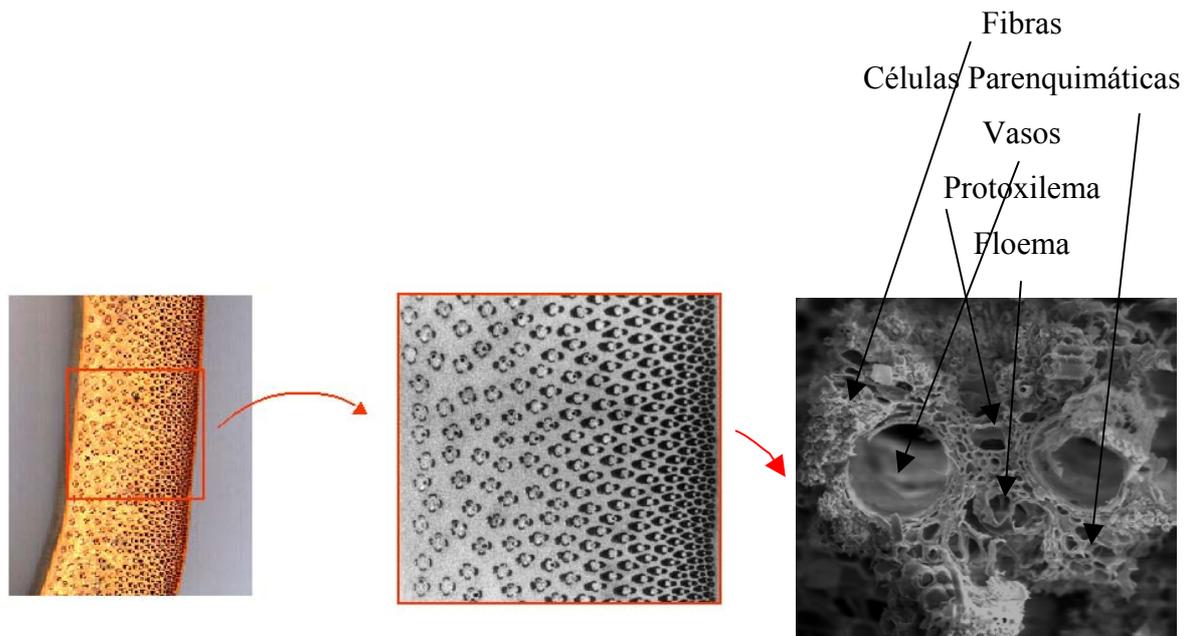


Figura 3.1 – Distribuição das fibras no bambu.

Para a familiarização do leitor com a utilização do bambu na construção civil e com os tipos de pesquisa que vêm sendo feito sobre este material, serão aqui apresentadas algumas das muitas possíveis utilizações do bambu em sua forma natural assim como algumas das pesquisas, curiosidades e propriedades deste material.

Elementos estruturais (vigas, pilares e lajes) reforçados por bambu:

Um dos principais problemas do bambu no que diz respeito a sua utilização como armação em estruturas de concreto é a sua grande capacidade em absorver água. O bambu deve ser primeiramente tratado por algum repelente d'água.

Ghavami (1995) diz que o repelente mais adequado é o Negrolim produzido pela Sika, sendo que este deve ser utilizado em conjunto com areia. Entretanto foi notado posteriormente que o Sikadur 32 Gel é mais adequado para esse tipo de tratamento.

Alguns resultados de testes de arrancamento realizados por Ghavami (1995) e Rosa (2002) (sendo que os ensaios realizados com tratamento por Sikadur e com o aço foram realizados por Rosa), podem ser vistos na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Resultados de aderência do bambu tratado e sem tratamento e do aço.

Tratamento	τ (N/mm ²)	
	Com nó	Sem nó
Sem tratamento	0,52	1,2
Negrolim + areia	0,73	1,55
Negrolim + areia+ arame	0,97	1,8
Sikadur 32 gel		2,75
Aço	3,25	

Vê-se que realmente o tratamento do bambu é necessário para que se incremente a tensão de adesão interfacial do bambu-concreto. Além disso este tratamento contribui para uma melhor durabilidade do bambu.

Vigas:

Em seu trabalho, Ghavami (1995) usou duas taxas de armação de bambu: 3,33% (VB1) e 5% (VB2) em relação à seção transversal da viga. A viga VB1 atingiu uma carga de aproximadamente 25 kN com uma flecha de 14 mm, já a VB2 atingiu uma carga de aproximadamente 16 kN com uma flecha de 12mm. Uma viga reforçada por aço CA-50 A com 0,78 % de taxa de armação foi também analisada, encontrando-se uma carga de ruptura de 60 kN e uma flecha de 11 mm. A partir desse trabalho observou-se que a carga máxima aplicada às vigas de concreto reforçadas por bambu foram 400% superior quando comparadas às vigas sem reforço. Também foi estabelecido que a taxa de armação recomendada de em relação à seção transversal de concreto é 3%.

Lajes:

Lajes reforçadas por metade e por $\frac{1}{4}$ da seção de bambu foram estudadas na universidade de Concórdia-Canada (Ghavami, 1988) e na PUC-Rio (Navarro, 2002). Foi estudada a influência da seção transversal do colmo de bambu com e sem espaço de 3 cm na carga máxima. Os resultados mostraram que as lajes construídas com metade da seção do bambu sem espaço entre si, apresentaram maior carga máxima. As lajes reforçadas por metade do bambu (figura 3.2) obtiveram bons resultados, mostrando que a carga de ruptura experimental foi superior a duas vezes a teórica.



(a)



(b)

Figura 3.2 – Laje reforçada por bambu. (a) Forma da laje com reforço por metade da seção do bambu e (b) concretagem da laje.

Pilares:

Ghavami (2000) realizou um estudo sobre pilares reforçados por bambu com forma permanente. O reforço principal foi feito inteiramente por bambu *Dendrocalamus Giganteus* tratado por Sikadur-32 ao invés de Negrolin ou IGOL-T, os quais foram utilizados em outros trabalhos realizados na PUC-Rio. Este pilar é retratado na figura 3.3, sendo que nesta pesquisa a carga de

compressão máxima do equipamento utilizado (100 toneladas) não foi suficiente para levar o pilar à ruptura.

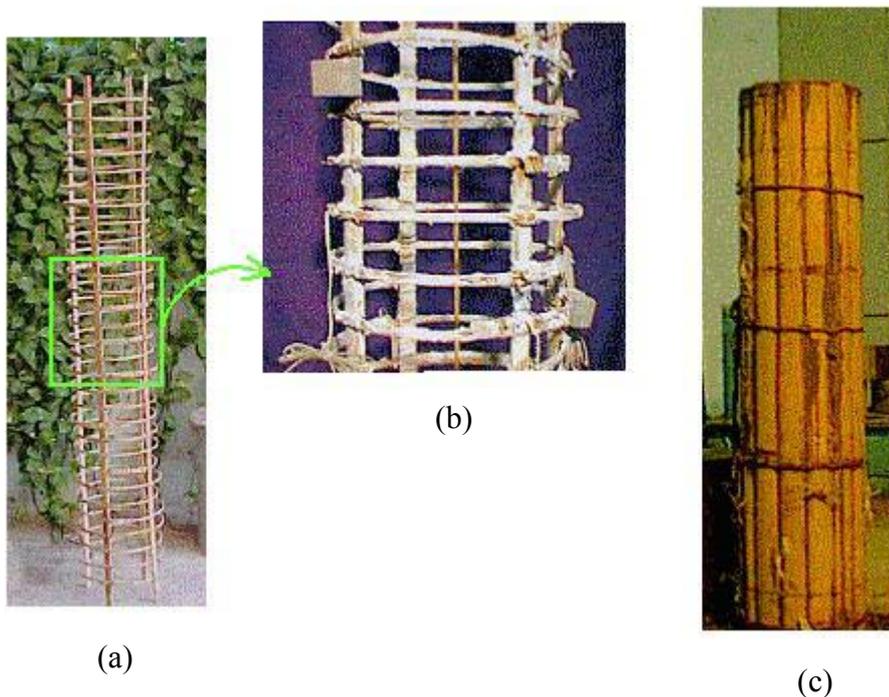


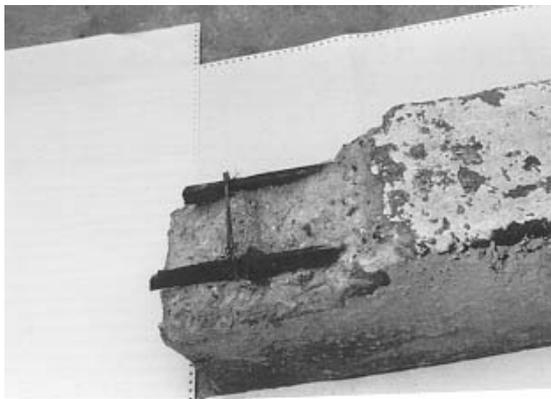
Figura 3.3 – Pilar reforçado por bambu: (a) armação do pilar, (b) instrumentação e (C) pilar concretado.

Rosa (2002), em sua dissertação de mestrado, também estudou pilares de concreto reforçado por bambu, porém neste caso o bambu não atuava como forma. Neste trabalho concluiu-se que o bambu pode ser um bom substituto do aço em casas populares, entretanto não é feita nenhuma conclusão concreta comparando-se valores de pilares reforçados por aço e por bambu. Os pilares na referida pesquisa romperam por esmagamento do concreto. Se faz necessário notar que o módulo de elasticidade do bambu é inferior ao do concreto, conseqüentemente para cargas axiais o bambu não ajudaria à combater os esforços de compressão sofridos pelo pilar.

Durabilidade do bambu:

O bambu, assim como a madeira é vulnerável ao ataque de insetos e pelo meio ambiente. Desta forma um cuidado especial deve ser dado a este material quando for usado para fins de construção civil. De acordo com Ghavami (2001a,

2001b) a durabilidade do bambu depende muito da espécie, idade, procedimento correto de conservação e tratamento o qual deve começar logo quando o bambu é cortado. O bambu deve ser seco para diminuir sua umidade, a qual quando inferior a 15 % diminui o risco de ataques por insetos, além de melhorar as propriedades físicas e mecânicas (Ghavami 1988b). Ghavami (2001) comparou a durabilidade de uma estrutura de concreto reforçada por aço do metrô do Rio de Janeiro, de 10 anos de idade, com outra reforçada com bambu, de 15 anos de idade, conforme mostra a figura 3.4. Enquanto o aço já estava completamente corroído, o bambu ainda se encontrava em bom estado.



(a)-Reforço por bambu após 15 anos em exposição ao ar.



(b)-Reforço por aço após 10 anos em área fechada.

Figura 3.4 – Aspectos do bambu e aço após longo período de exposição.

Estudo do bambu em escala nano:

Como a análise de materiais a nível nano está relativamente em evidência na comunidade científica mundial, é mostrado aqui um estudo inicial do bambu através da utilização de Microscópio de Força Atômica e de um Nanoscópio.

Uma AFM Veeco DI 3100 Nacoscope foi utilizado para se caracterizar a topografia superficial dos feixes de fibras. Uma imagem em duas dimensões pode ser observada na figura 3.5 (a). Uma imagem da figura 3.5 (a) é apresentada na figura 3.5 (b), a qual claramente delimita as fronteiras das fibras e das paredes das células assim como o seu núcleo.

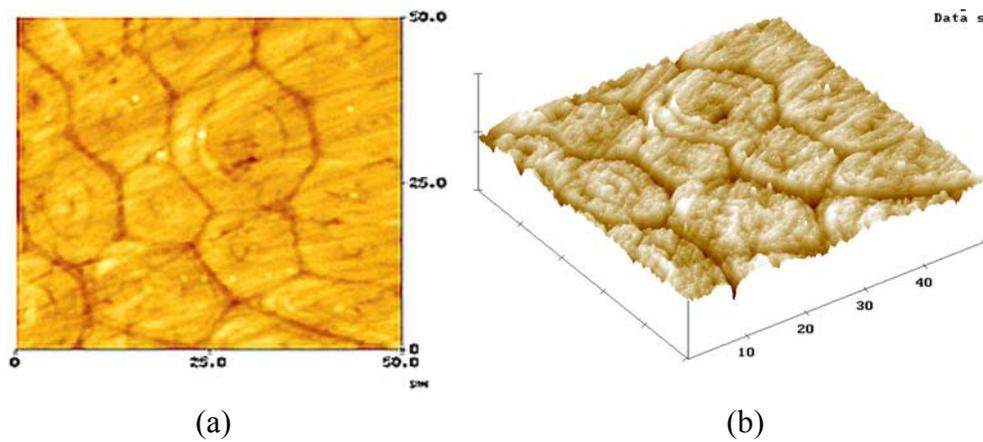


Figura 3.5 – Superfície de feixes vasculares em (a) 2 dimensões e (b) 3 dimensões. Observações efetuadas no Veeco DI 3100 Nacoscope realizadas no departamento de materiais e engenharia aeronáutica da Universidade de Princeton

Através de imagens de tamanho com ordem de grandeza nano, foram revelados alguns aspectos interessantes do bambu. Imagens com maiores ampliações dos contornos das células são mostrados na figura 3.6 (a). A parede da célula é de aproximadamente 500 nm. A figura 3.6 (a) e (b) mostram evidências do descolamento entre fibras.

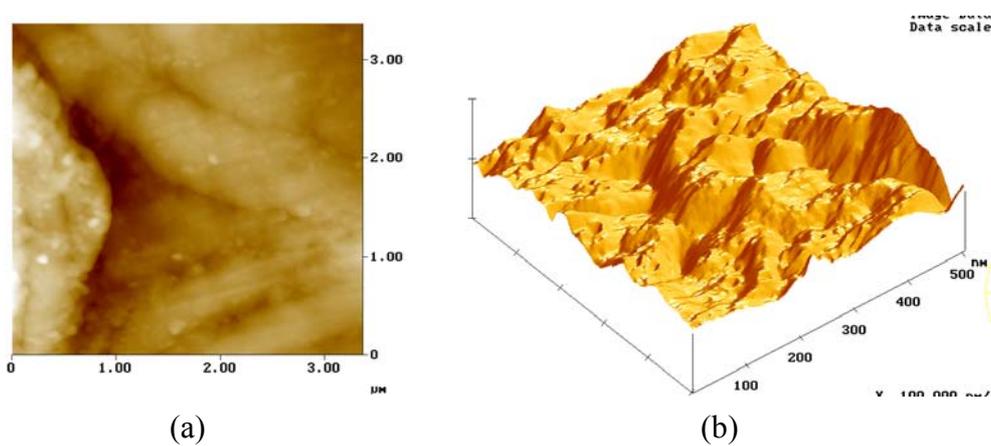


Figura 3.6 – (a) Parede da célula de aproximadamente $0,5 \mu\text{m}$ e (b) algumas propriedades de escala nano. Análise do microscópio de força atômica realizada no departamento de materiais e engenharia aeronáutica da Universidade de Princeton.