

COMPÓSITOS À BASE DE CIMENTO REFORÇADOS COM POLPA DE BAMBU PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Marcos Alyssandro S. dos Anjos

E-mail: malyssandro@bol.com.br.

Normando Perazzo Barbosa

Universidade Federal da Paraíba

Khosrow Ghavami

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Resumo

Este trabalho analisa o uso de polpas celulósicas de bambu, em dois estágios de tratamento diferentes, quais sejam polpas antes do processo de refino e após este processo, para reforço de matrizes cimentícias, utilizando o processo de produção Hatschek em escala laboratorial, como uma alternativa para substituição do amianto. As polpas celulósicas foram utilizadas nas porcentagens de 4, 6, 8, 10, 12, 14 e 16% em relação à massa do cimento, sendo utilizada a matriz plena como referência. Os compósitos apresentaram excelente adequação a um modelo de produção em escala laboratorial e elevadas resistência à flexão e capacidade de absorver energia, tendo pois enorme potencial para utilização na construção civil.

Palavras-chave: Compósito. Polpa celulósica. Bambu. Fibras vegetais.

1. Introdução

As principais funções da inclusão de fibras em matrizes frágeis à base de cimento são: aumentar a resistência à tração ou à flexão; prevenir ou retardar o aparecimento de fissuras, diminuindo a abertura das mesmas e aumentar a capacidade de absorver energia após a carga máxima, proporcionando maior tenacidade.

Em compósitos de matrizes frágeis reforçados por fibras (concretos ou argamassas) a ruptura do material se dá principalmente pelo arrancamento das fibras da matriz por perda de aderência ou então por ruptura da fibra. Ao contrário do concreto convencional, aquele reforçado por fibra não rompe imediatamente após o início da primeira fissura, devido ao efeito de obstrução das trincas pelas fibras. Isto tem o efeito de aumentar o trabalho de fratura. Assim, o compósito sujeito à flexão ou à tração pode até suportar cargas cada vez maiores, após a primeira fissura da matriz, se a resistência das fibras ao arrancamento for maior que a carga na primeira fissuração, e a taxa volumétrica de fibras for suficiente.

Após décadas de pesquisas, é possível produzir fibrocimentos capazes de suprir a demanda necessária para a engenharia em termos de capacidade de suportar cargas, controlar fissuras e absorver energia após a fratura. Porém o desafio do século 21 está na necessidade de se obter um material de construção com custo apropriado, durável e ecológico, que satisfaça a necessidade de infra-estrutura e aumente a qualidade de vida dos povos [1]. Diversos materiais podem ser utilizados para a produção de compósitos reforçados por fibras com mostra a Figura 1 [2].

O processo de polpação de matérias-primas vegetais promove a remoção das impurezas não celulósicas, como a lignina e a hemicelulose, diminuindo o ataque dos álcalis do cimento às fibras sem a necessidade de modificações na matriz cimentícia. O processo de

polpação tipo Kraft dependendo do seu rendimento, pode chegar a remover toda a lignina presente no material de origem [3].

Neste trabalho foram empregados vários teores de reforço com o intuito de analisar a influência do tipo e do percentual de polpa celulósica de bambu nas características mecânicas de compósitos à base de cimento, e determinar a porcentagem de reforço ideal com base nas propriedades mecânicas obtidas nos ensaios de flexão. Outros resultados, como resistência à compressão e à tração por compressão diametral, além de propriedades físicas e análises microestruturais, podem ser encontrados na dissertação de mestrado do primeiro autor [4].

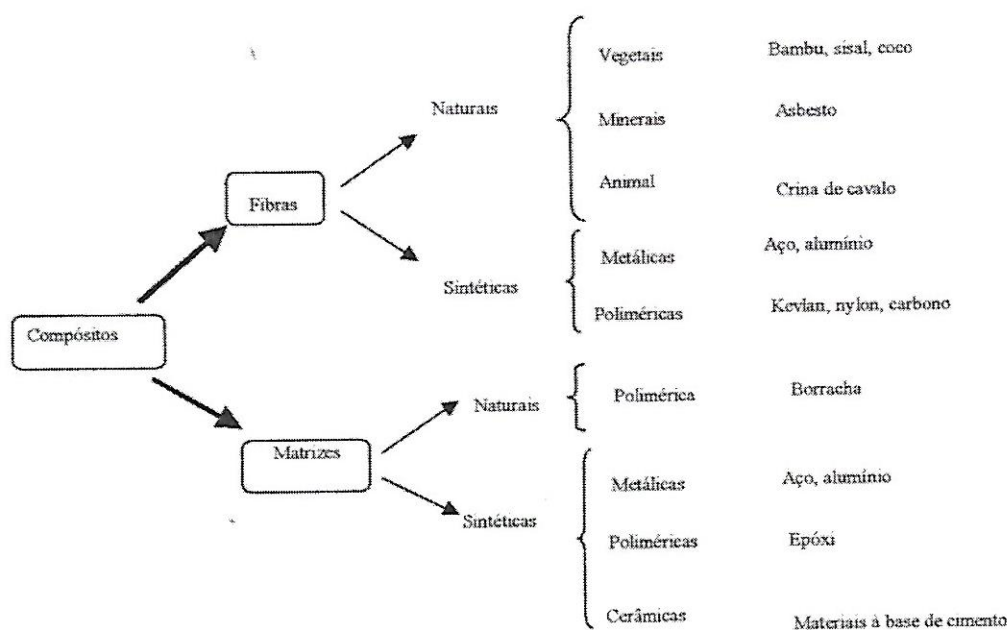


FIGURA 1: Diferentes de materiais utilizados para produção de compósitos [1]

2. Materiais e métodos

Neste trabalho foi utilizado cimento Portland CP II E – 32, marca Eldorado. O CP II E já contém em sua constituição de 6 a 34 % de escória de alto forno moída, proporcionando assim uma matriz com menor teor de hidróxido de cálcio com conseqüente diminuição do ataque alcalino à lignina das fibras.

A polpa celulósica foi proveniente da fábrica de papel Itapajé, localizada no Estado do Maranhão. A Tabela 1 mostra a absorção máxima e a umidade natural das polpas, refinadas e sem refino, determinadas no Laboratório de Estruturas e Materiais da PUC-Rio (LEM-PUC).

TABELA 1: Características físicas das polpas

<i>Tipo de polpa</i>	<i>Polpa refinada</i>	<i>Polpa sem refino</i>
Absorção máxima	480 - 589%	610 - 715%
Umidade natural	7-15%	35-72%

2.1. Metodologia de fabricação dos compósitos

Para a fabricação dos compósitos é necessário realizar, antes da mistura, uma dispersão da polpa em água, tendo em vista que a secagem e prensagem realizada antes do transporte desde a fábrica até o laboratório causam aglutinação dos filamentos.

A fabricação das placas para os ensaios de flexão é realizada com um dispersor de amostras (misturador) sendo utilizada uma pasta fluida de cimento e polpa com teores de 25% a 30% de material sólido em massa. Após a dispersão da polpa na pasta, a mistura é transferida rapidamente para a câmara de moldagem onde será submetida uma subpressão em sua face inferior.

A câmara de moldagem tem dimensões 120 mm x 120 mm e altura 100 mm e na parte inferior há uma tela metálica, sobre a qual são colocados uma manta de poliéster (geotêxtil) e um filtro de papel de modo a se extrair a água em excesso, porém evitando-se a perda de material sólido. Três placas para cada percentual de polpa são produzidas por vez. Em seguida, essas são empilhadas e intercaladas por chapas de aço e toalhas de papel, para serem submetidas à prensagem que é realizada por 5 minutos a uma pressão constante de 3,2 MPa. Após a prensagem, as placas são acondicionadas em sacos plásticos durante 24 horas para manter uma umidade constante e evitar a perda de água para o meio ambiente. Em seguida, as placas são curadas por imersão em água à temperatura ambiente durante 6 dias. Após a cura as placas são retiradas e cortadas nas dimensões finais 36,5 mm x 120 mm, por meio de uma serra circular de disco diamantado. Estes corpos de prova são mantidos em ambiente controlado a uma temperatura de 23 ± 2 °C e umidade em torno de $50 \pm 5\%$ até a data dos ensaios.

2.2. Ensaio mecânicos

Os ensaios de flexão foram realizados em equipamento de três cutelos com vão inferior de 100 mm e aplicação de carga centrada no sentido da espessura com carregamento constante de 0,5 mm/minuto utilizando uma máquina de ensaio Instron 5500 N. Os espécimes utilizados tinham dimensões de 120 mm x 36,5 mm e espessura de 6 mm.

Para o cálculo da resistência à flexão e do módulo de elasticidade na flexão foram utilizadas as equações $f_f = \frac{3PL}{2be^2}$ e $E_f = \frac{mL^3}{4be^3}$ respectivamente, com P = carga máxima do ensaio; L = vão inferior; b = largura do espécime; e = espessura e m = inclinação do trecho linear da curva carga-deflexão. A capacidade de absorver energia estática na flexão é determinada pela área abaixo do gráfico carga versus deflexão até o nível de carga de 40% da carga máxima (de pico) do trecho descendente de acordo com o proposto pelo RILEM-1984 [5].

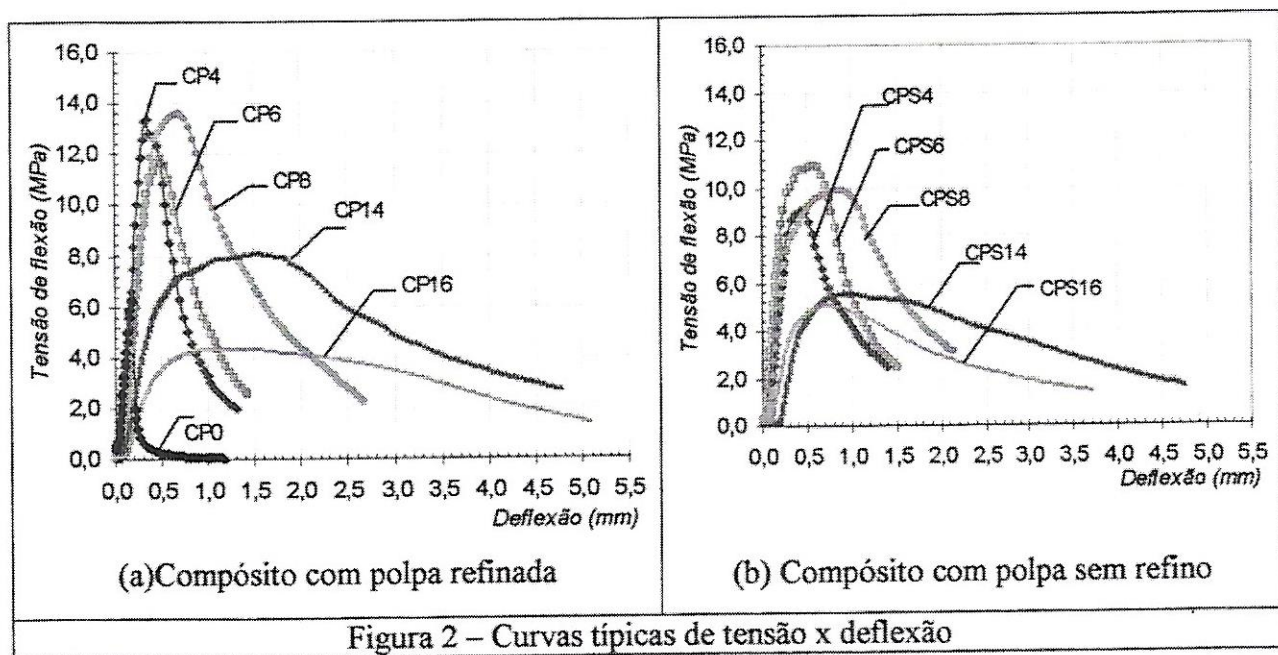
3. Resultados e discussão

As propriedades mecânicas dos compósitos com polpa refinada e sem refino são apresentadas na Tabela 2. Cada resultado corresponde à média de seis corpos de prova. Entre parênteses consta o coeficiente de variação encontrado. Curvas típicas de tensão na flexão versus deflexão são mostradas na Figura 2. A nomenclatura utilizada para identificar os diferentes tipos de compósitos é a seguinte: *C* – cimento; *P* - polpa refinada; *PS* - polpa sem refino; os números após C, P, PS representam a porcentagem de reforço.

TABELA 2: Propriedades mecânicas dos compósitos aos 28 dias

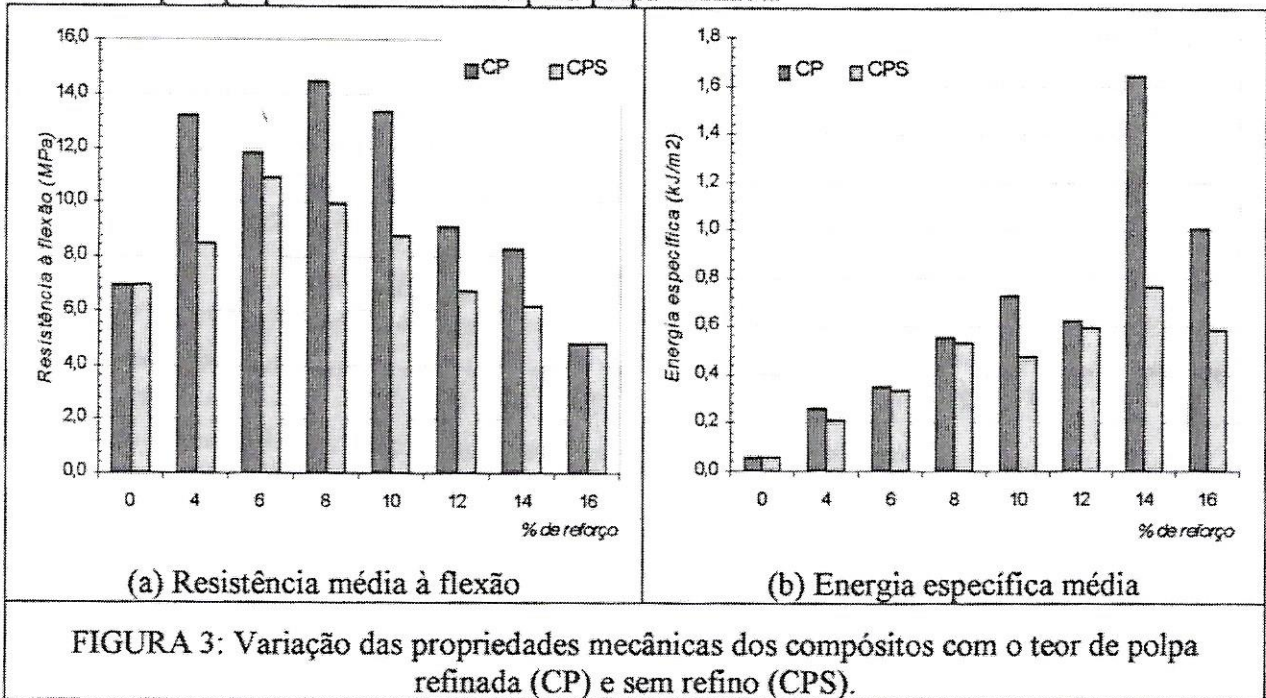
% de fibra	Resistência à flexão (MPa)	MEF (GPa)	Energia Específica (kJ/m ²)	Deflexão ruptura (mm)	Carga máxima (kN)
Fibra refinada					
0	7.0 (26.4)	14.7 (17.2)	0.02 (38.5)	0.16 (18.4)	0.07 (54.2)
4	13.3 (15.8)	14.6 (25.1)	0.26 (31.1)	0.41 (20.6)	0.10 (10.9)
6	11.8 (12.8)	11.1 (18.8)	0.35 (19.6)	0.55 (22.8)	0.14 (12.4)
8	14.5 (8.4)	9.8 (13.2)	0.56 (38.9)	0.77 (23.7)	0.17 (17.1)
10	13.3 (18.2)	8.8 (18.5)	0.73 (27.8)	0.76 (16.7)	0.19 (14.6)
12	9.1 (20.4)	4.5 (24.7)	0.63 (31.0)	0.45 (55.1)	0.07 (40.2)
14	8.3 (6.3)	5.5 (18.0)	1.64 (33.6)	1.11 (23.5)	0.11 (4.0)
16	4.8 (17.3)	2.6 (26.8)	1.01 (26.0)	1.39 (50.6)	0.08 (25.3)
% de fibra	Resistência à flexão (MPa)	MEF (GPa)	Energia Específica (kJ/m ²)	Deflexão ruptura (mm)	Carga máxima (kN)
Fibra sem refino					
4	8,5 (6.4)	11.6 (9.4)	0,21 (10.1)	0,41 (10.6)	0,20 (142.6)
6	10.9 (10.9)	11.5 (13.3)	0,34 (15.5)	0,54 (13.2)	0,11 (19.5)
8	9.9 (13.8)	7.6 (9.2)	0,53 (24.4)	0,69 (19.1)	0,14 (22.2)
10	8.7 (8.1)	6.8 (18.7)	0,48 (38.0)	0,68 (23.9)	0,13 (8.0)
12	6.7 (25.0)	5.3 (33.6)	0,60 (17.9)	0,87 (14.0)	0,09 (22.7)
14	6.2 (22.0)	3.5 (37.9)	0,77 (20.7)	1,06 (20.4)	0,11 (21.3)
16	4.8 (32.0)	3.2 (48.5)	0,59 (18.6)	0,98 (15.1)	0,08 (39.2)

Valores da média de seis resultados com os coeficientes de variação (CV%) entre parênteses



Os compósitos com polpa refinada apresentam comportamento mecânico superior, em relação aos compósitos com polpa sem refino, para todos os teores de reforço empregados (Figura 3). Isto se deve provavelmente a uma superfície de fratura com maior número de

fibras refinadas capazes de interceptarem as fissuras. Além disso, as fibras refinadas parecem ser mais resistentes, provavelmente devido ao menor teor de lignina conseguido através do processo de refino. Verificou-se, ainda, que ocorreu uma tendência de crescimento na resistência à flexão até um teor ótimo com posterior queda nesta propriedade. Isto ocorre porque após certa taxa de polpa à concentração volumétrica de fibras acarreta dificuldade de mistura e dispersão. No caso, acharam-se os teores com maior resistência à flexão como sendo 6% para polpa sem refino e 8% para polpa refinada.



Na imagem obtida com o microscópio eletrônico de varredura da amostra do compósito reforçado com 4% de polpa refinada, com aumento de 2000 vezes, e visualização na base da fibra, verificam-se fissuras na interface fibra-matriz e prováveis incrustações da matriz de cimento na superfície da fibra, conforme o destaque na Figura 4, o que demonstra a aderência entre as fases. Mesmo assim, o arrancamento da fibra foi verificado o que reflete na grande dissipação de energia específica necessária para ruptura.

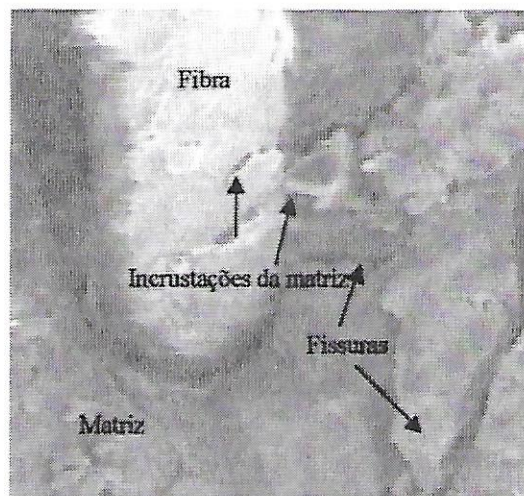


FIGURA 4: Imagem obtida ao MEV de compósito com 4% de polpa refinada (aumento de 2000 vezes)

4. Considerações finais

Foram estudados compósitos de matriz de cimento reforçada com polpa celulósica de bambu, com e sem refino.

Os ensaios de flexão mostram que:

- a resistência do compósito com fibras refinadas cresceu até o teor de 8%, ao passo que no caso de fibras sem refino o teor ótimo situou-se em 6%. Além dessas taxas, a dispersão das fibras e a compacidade do compósito ficaram comprometidas.
- a capacidade de absorver energia (tenacidade) medida pelo método do Rilem cresce até teores de fibras, bem superiores aos que conduziram à resistência máxima. A porcentagem de reforço que conduziu a maior energia específica situou-se em torno de 14%.

A polpa de bambu empregada em matriz de cimento apresenta um grande potencial a ser explorado na confecção de telhas e outros elementos construtivos quando aspectos relacionados a sua durabilidade forem devidamente estabelecidos.

5. Referências bibliográficas

SWAMY, R. N. **FRC for sustainable infrastructure regeneration and rehabilitation**. Fibre-Reinforced Concretes (FRC), BEFB, RILEM-2000, p. 5-17.

GHAVAMI, K; RODRIGUES, C. S. **Engineering Materials and Components with Plants**. CIB Symposium on Construction & Environment: theory into practice. São Paulo, Brasil: Global Seven, 2000, p.01-16. Available on CD-Rom.

PHILLIP, P. **Celulose e Papel: tecnologia da fabricação de pasta celulósica**. 2 ed. IPT, 1998, v. 1.

_____. **Celulose e Papel: tecnologia da fabricação do papel**. 2 ed. IPT, 1988, v. 2.

ANJOS, M. A. S. **Compósito à base de cimento reforçado com polpa de bambu: caracterização física, mecânica e microestrutural**. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 2002. Dissertação de Mestrado.

Rilem Technical Committee 49 TFR. **Testing methods for fibre reinforced cement-based composites, materiaux et constructions** (Materials and Structures). v.17, n.102, 1984.