

sendo os ensaios efetuados segundo o método C 642-69 T da A.S.T.M.

A tabela 3 mostra os resultados obtidos.

### 5.3 Ensaio de Permeabilidade

Usou-se um método de ensaio sueco, M.I.S. 33 aplicado a concretos, para a verificação da permeabilidade dos compostos.

O método consiste em forçar a passagem de um fluxo d'água sob pressão constante através de corpos de prova.

Devido às diferenças entre as estruturas internas do concreto e da argamassa, os valores mostrados na tabela 3 não são índices de permeabilidade dos compostos, sendo apenas grandezas qualitativas, tomada a matriz como referência.

## 6 AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS

A inclusão de fibras, vegetais ou não (ver tabela 3), numa matriz de argamassa reduz sua resistência à compressão, sendo isso verificado para os compostos ensaiados. Esse fato, entretanto, era esperado e não prejudica o desempenho dos compostos desde que a resistência à compressão da matriz é muito alta, podendo ser reduzida e, o que se pretende é aumentar sua resistência à flexão.

Nota-se claramente a influência das propriedades físico-mecânicas das fibras (índice de enfiamento, resistência à flexão, módulo de elasticidade, alongamento) no comportamento dos compostos na flexão, comparando os resultados obtidos dos ensaios:

- O coco tem índice de enfiamento baixo assim como o módulo de elasticidade e resistência à tração. Analisando os valores da tabela 3, nota-se que a inclusão dessas fibras praticamente não contribuiu na resistência à flexão desses compostos, independentemente dos comprimentos e volumes de fibras usadas.

As fibras de coco devem ter, portanto, outra função no fibro-cimento que não o aumento da resistência à tração da matriz. Segundo Hannant<sup>(3)</sup> e Walton<sup>(5)</sup>, fibras orgânicas de baixo módulo de elasticidade

aumentam a resistência ao impacto das matrizes de argamassa, sugere-se, então, a utilização das fibras de coco no fibro-cimento com essa finalidade.

- Depois do bambu, o sisal foi a fibra que apresentou maiores valores para as propriedades físico-mecânicas mencionadas anteriormente. Dentre os compostos estudados, os de sisal-cimento foram os que mostraram resultados mais interessantes, correspondendo aos princípios estabelecidos pelas teorias do fibro-cimento. Houve distribuição dos esforços e, conseqüentemente, distribuição de fissuras (nos compostos com fibras  $\geq 3,0$  cm de comprimento); houve acréscimo no módulo de rotura, sendo observado, entretanto, que o volume ideal de fibras deveria estar entre 3% e 7%. 10% de fibras em volume deve ser, provavelmente, maior que o volume limite de fibras devido à redução na resistência à flexão apresentada. Como ilustração, os valores do volume crítico e volume limite para a utilização da fibra de vidro no fibro-cimento são respectivamente 0,4% e 7,0%<sup>(3)</sup>, isto é, as porcentagens de fibras, em volume, a serem utilizadas nos compostos com fibra de vidro devem ficar entre os valores 0,4% e 7%. A porcentagem em volume igual a 10%, portanto, é muito alta, justificando a queda nos valores das resistências à flexão.

- Devido às propriedades físico-mecânicas apresentadas pelo bambu, acredita-se que, se fosse conseguido o seu desfibramento, os compostos obtidos com essa fibra apresentariam resultados satisfatórios.

Observando os valores constantes na tabela 3 para os compostos com sisal vê-se que a resistência à flexão destes aumenta quando são usadas fibras de comprimento maiores. Com relação ao alinhamento, nos compostos com fibras de 6,0 cm houve dificuldades na uniformização da mistura, acarretando decréscimo de resistência e dispersão nos resultados dos ensaios. Com as fibras de 3,0 cm não apareceu esse problema. Por outro lado, para fibras de 27,0 cm colocadas alinhadas na mistura, os valores dos módulos de rotura foram os mais altos e a dispersão, pequena. Conclui-se, portanto, que, quando forem utilizadas fibras com comprimentos maiores que 3,0 cm, estas devem ficar alinhadas para que seja garantida a boa eficiência à tração. Ryder<sup>(7)</sup> confirma essa conclusão quando diz que o comprimento das fibras a serem utilizadas no fibro-cimento varia entre 1,0 mm e 40,0 mm, podendo ser usadas fibras maiores devendo então ter estas um considerável grau de orientação.

Os valores de resistência à flexão dos compostos com piaçava foram baixos (ver tabela 3) com exceção do composto com fibras de 27,0 cm de comprimento.

Analisando a tabela 3 vê-se que os compostos com fibras de amianto foram os que apresentaram menores resistências, tanto à flexão quanto à compressão. Sabe-se, entretanto, que as fibras de amianto quando incorporadas à matriz de argamassa adequada, no volume correto, é verificado um grande aumento na resistência à flexão do composto. Com a forma de mistura e com a matriz utilizadas isso não ocorreu, podendo significar que, determinando-se a matriz ideal e utilizando-se um processo de prensagem, e/ou redução do fator água/cimento, é possível conseguir excelente desempenho das fibras vegetais em compostos de fibro-cimento.

Ainda analisando a tabela 3 observa-se:

- Os índices de absorção dos compostos aumentaram com o acréscimo do volume de fibras usado. Os compostos com bambu e sisal apresentaram índices de absorção maiores que os dos compostos com piaçava e coco cujos índices de absorção foram aproximadamente iguais aos da matriz correspondente.
- O peso específico da matriz é reduzido quando se usa um maior volume de fibras. A utilização de fibras vegetais, entretanto, não reduz significativamente o peso específico dos compostos, tendo, inclusive os compostos com piaçava apresentado valores do peso específico maiores que os da matriz correspondente.
- O sisal aumenta a permeabilidade dos compostos, o que não acontece com a piaçava cuja influência é muito pequena na permeabilidade da matriz. A inclusão de fibras de coco também aumenta a permeabilidade da argamassa, porém em menor intensidade.

## 7 CONFEÇÃO DE PEÇAS

Nesta fase propôs-se testar a viabilidade de confecção de peças (telhas, tanques e lavatórios) de fibra vegetal-cimento a partir de processos artesanais, de modo a possibilitar a elaboração de uma tecnologia simplificada, própria à autoconstrução.

O processo de moldagem proposto consiste na confecção de placas planas sobre um plástico (filme de polietileno), tendo como gabarito uma moldura vazada de madeira que garante as dimensões requeridas para as placas. Em seguida à moldagem e retirado o gabarito, a placa, suspensa pelo plástico é colocada sobre o molde, dando-se a forma desejada. No caso da telha a forma é dada pelo peso próprio, ao ser colocada a placa recém-moldada sobre cavaletes através de duas peças de madeira presas ao plástico<sup>(11)</sup> (ver figura 4).

Inicialmente tentou-se a obtenção de uma mistura homogênea matriz-fibra, executada manualmente, com o emprego de operários sem especialização - ajudante de pedreiro e servente. Em vista das dificuldades encontradas - mistura difícil, peças mal acabadas - partiu-se para a moldagem das placas com a colocação de uma camada de fibras entre duas outras de argamassa. Entretanto, a quantidade de fibras que pôde ser usada foi pequena, em torno de 2% em volume e o fator água/cimento ficou em 0,70. Cortaram-se as fibras com 4 cm de comprimento e na argamassa utilizou-se a proporção de 1:3 em volumes de cimento e areia. Na tabela 4 tem-se a descrição das telhas moldadas. Conseguiu-se, com esse processo, a confecção de protótipos de caixas d'água com 50 e 150 l, assim como um tipo especialmente desenvolvido de lavatório, sempre utilizando-se da moldagem inicial de placas planas. A espessura das telhas e caixas d'água ficou em torno de 1,0 cm, e a do lavatório, 2,0 cm. Devido à sua pequena superfície a caixa de 50 l pôde ser moldada de uma só vez, através de 3 placas colocadas externamente sobre o molde. Já a de 150 l foi confeccionada em placas separadas e depois montadas com argamassa.

Para análise do desempenho das telhas foi escolhido um ensaio expedito, à flexão, com as seguintes características:

- comprimento das telhas: 100 cm
- apoios: afastamento - 82 cm (eixo a eixo)  
largura - 8 cm
- carregamento: com incrementos de carga de 13 Kgf (corpos de prova de concreto), feito através de dois cutelos espaçados de 34 cm.  
largura dos cutelos - 2,5 cm (ver figura 5).

Os resultados dos ensaios (valores médios) assim como os pesos das telhas são mostrados na tabela 4.

Analisando os dados da tabela 4 e os observados durante os ensaios vê-se que:

- a) o tipo de moldagem 2 (ver tabela 4) para as telhas com fibras foi o que mostrou melhores resultados, sendo o escolhido para a confecção das caixas d'água e lavatórios;
- b) a fibra do coco, apesar de ser menos resistente que a de sisal e do comportamento inexpressivo nos compostos estudados (ver tabela 3), proporcionou às telhas com essa fibra os melhores resultados obtidos: maior resistência e maior uniformidade, superando as telhas de argamassa armada com tela de arame. Atribui-se isso à excelente aderência fibra-matriz observada nos ensaios;
- c) durante os ensaios as telhas de fibra vegetal comportaram-se melhor que as de argamassa com tela quanto à interação armadura-matriz, proporcionando maior distribuição de fissuras e rotura lenta, com grandes deformações suportadas pelas fibras vegetais usadas.

As caixas d'água e lavatórios foram avaliados através de sua utilização, mostrando-se perfeitamente estanques e resistentes ao manuseio e transporte.

## 8 CONCLUSÕES

- a) Este trabalho demonstra a viabilidade do emprego de fibras vegetais, particularmente sisal e fibra de coco, para utilização em compostos de fibro-cimento em produtos de construção civil. Foi demonstrada essa viabilidade tanto pela melhoria das características mecânicas da matriz (aumento da resistência à flexão e melhor distribuição das fissuras) quanto pela possibilidade de manufatura de peças (telhas, caixa d'água, lavatórios) através de processos simples e de fácil execução.
- b) Os resultados obtidos com os compostos com fibras de amianto submetidos à flexão mostraram módulos de rotura inferiores aos similares com fibra vegetal. Sabe-se, entretanto, que o amianto confere grande resistência à tração às argamassas. Isto induz à conclusão que, se as fibras vegetais fossem usadas no fibro-cimento por

um processo industrial, semelhante ao utilizado nas fábricas de produtos de cimento - amianto - onde há prensagem da massa fresca e utilização de vácuo para redução do fator água/cimento - os valores das resistências à flexão dos compostos com fibras vegetais seriam bem maiores que os obtidos neste trabalho.

NOTA: O programa THABA tem se caracterizado por desenvolver linhas de pesquisa de modo a que os produtos desenvolvidos possam ser facilmente assimilados pela população, diretamente. Daí a persistência, no trabalho, no desenvolvimento de misturas manuais e de processos simples para confecção das peças.

- c) Apesar de demonstrada a viabilidade do emprego de fibras vegetais no fibro-cimento, a dosagem e procedimentos de mistura ainda não foram otimizados, esperando-se que melhores resultados possam ser obtidos. Pretende-se desenvolver uma prensa manual bastante simplificada de modo a aprimorar a confecção de peças.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 - CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO: Projeto Tecnologias do Habitat, Camaçari. *Utilização de fibras vegetais no fibro-cimento e no concreto-fibra*. Rio de Janeiro, Banco Nacional de Habitação. Departamento de Pesquisas, 1980. 151p. il.
- 02 - COUTINHO, A. de S. *Fabrico e propriedades do betão*. Lisboa. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (INEC), 1973. 2v. il.
- 03 - HANNANT, D. J. *Fibre cements and fibre concretes*. John Wiley & Sons, 1978. 219p. il.
- 04 - PAKOTIPRAPHA, B. et alli. *A study of bamboo pulp and fiber cement composites*. Bangkok, Asian. Institute of Technology, s.d. 24f.
- 05 - WALTON, P. L. & MAJUMDAR, A. J. Cement-based composites with mixtures of different types of fibres. *Composites; the technology of composite materials*, Guildford, Sept. 1975. p. 209-16. il.
- 06 - BARKAKATY, B. C. Some structural aspects of sisal fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, New York, 20 (11): 2921-40, 1976. il.
- 07 - RYDER, J. F. Applications of fibre cement. in: RILEM SYMPOSIUM ON FIBRE REINFORCED CEMENT AND CONCRETE, Lancaster, 14-17 Sept. 1975. *Fibre reinforced cement and concrete*. Lancaster, Construction Press, 1976. v.1, p. 23-35. il.
- 08 - CHAKRAVARTY, A. C. & HEARLE, J. W. S. Observations of the tensile properties of ultimate cells of some plant fibres. *Journal of the textile Institute*. 58: 651-60, 1976. il.
- 09 - PAKOTIPRAPHA, B. et alii. *Development of bamboo pulp boards for low cost housing*. s. n. t. p. 1096-115. il.
- 10 - CASTRO, J. & NAAMAN, A. E. Cement Mortar Reinforced with Natural Fi-

bers. *ACI Journal*, Jan - Feb. 1981. p. 69-78, il.

- 11 - CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO: Projeto Tecnologias do Habitat, Camaçari. *Cobertura e componentes para habitação popular*. Rio de Janeiro, Banco Nacional de Habitação. Departamento de Pesquisas, 1981. 226p. il.
- 12 - MATTHEWS, J. M. *The textile fibers; their physical, microscopical and chemical properties*. 4 ed. New York, J. Wiley, 1936. 1053p. il.

TABELA 1  
CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS

Fibra	Diâmetro (µm)	Alongamento (%)	Resistência (kg/tex)	Alongamento em ruptura (%)	Resistência em ruptura (kg/tex)
Sisal ( <i>Sisal (Sisal maffoni L.)</i> )	0,70	20,0	19,0	17,3	25,7
Sisal ( <i>Sisal (Sisal maffoni L.)</i> )	2,90	19,0	17,3	25,7	11,7
Sisal ( <i>Sisal (Sisal maffoni L.)</i> )	0,60	19,0	17,3	25,7	11,7
Sisal ( <i>Sisal (Sisal maffoni L.)</i> )	2,95	19,0	17,3	25,7	11,7
Sisal ( <i>Sisal (Sisal maffoni L.)</i> )	1,70	19,0	17,3	25,7	11,7

(a) As dimensões dessas fibras foram conseguidas no Laboratório de Fibras do Instituto de Física da Universidade de São Paulo.  
(b) As de placas e com em Matérias.