

Comportamento à compressão de argamassas reforçadas com fibras vegetais da Amazônia

(Behavior of cement mortar reinforced with Amazonian fibers subjected to compression)

Marcelo de Souza Picanço

M.Sc. Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio

E-mail: marcelopicanco2004@yahoo.com.br

Khosrow Ghavami

Professor Titular da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio, Ph. D. FASCE

E-mail: ghavami@civ.puc-rio.br

Resumo

A busca por materiais alternativos que possam substituir as fibras de amianto, compondo o fibrocimento, tem-se tornado objeto de estudos recorrentes. As fibras vegetais surgem como opção econômica, salubre e ecologicamente adequada. O objetivo desse trabalho foi estudar o comportamento da adição da fibra de curauá em compósitos cimentícios, visando a substituir o amianto. Essa fibra mineral é bastante conhecida pelos danos que provoca à saúde humana, já tendo sido banida em muitos países industrializados. Desde 1979, o Grupo de Pesquisas em Materiais não Convencionais da PUC-Rio tem desenvolvido trabalhos sobre a aplicação das fibras vegetais, disponíveis em abundância no Brasil, na fabricação de componentes para a construção civil, visando, principalmente, à produção de habitação popular. A fibra de curauá é de uso popular, na região conhecida como Baixo-Amazonas, oeste do Estado do Pará, na manufatura de cordas, cestas e tapetes, já existindo os primeiros plantios em escala comercial. Pouco conhecida nas demais regiões do país, a fibra de curauá ainda carece de estudos específicos sobre suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, que possibilitem sua aplicação segura em compósitos para a construção civil.

Nesse artigo, foi estudado o comportamento em compressão de argamassas reforçadas com fibras de curauá. Buscou-se comparar o desempenho das fibras de curauá e de seus compósitos, com as fibras e compósitos de amianto e de outras fibras vegetais, tais como sisal e juta. Para os compósitos cimentícios com reforços de juta e de sisal, foram obtidos dados através de ensaios realizados no escopo desse trabalho. Os resultados mostraram que a fibra de curauá possui características físicas e mecânicas que a habilitam à aplicação como reforço de matrizes cimentícias, principalmente quando for almejada uma maior ductilidade e uma maior capacidade de resistência após a fissuração da matriz.

Palavras-chave: Fibra de curauá, materiais compósitos, materiais não-convencionais, fibras vegetais e materiais de baixo consumo de energia.

Abstract

In recent years, there has been intense research worldwide for alternative materials to substitute asbestos fiber, a component of asbestos cement, which has been found to be hazardous to human and animal health and has been banned in many countries. Since 1979 the Non-conventional Materials Research Group of PUC-Rio has carried out research on the application of vegetable fibers, available in abundance in Brazil, for the fabrication of construction components, aiming mainly at the fabrication of popular housing. The Curauá fiber has been studied, as it is already of popular use in the manufacture of ropes, baskets and carpets in the region, known as Baixo Amazonas, in the state of Para, Brazil, where the first plantations have been organized on a commercial scale. In this work, mechanical properties of the Curauá fiber, as well as their application as a cementitious matrix reinforcement, have been studied. The performance of Curauá fiber and its composites was compared with other vegetable fibers, such as sisal and jute, as a substitute for asbestos fiber and its composites. The data on sisal fibres from previous works by the same research group at PUC-Rio was considered for comparison. The behavior of jute fiber, as well as cementitious composites, reinforced with jute and sisal fibers, has also been studied in this work. The results have shown that the Curauá fiber has appropriate physical and mechanical characteristics that make it suitable to be used as reinforcement of cementitious matrixes, with a high ductility and post-cracking resistance capacity.

Keywords: Curauá fiber, jute fiber, sisal fiber, cementitious composites, non-conventional materials.

1. Introdução

O desenvolvimento e a aplicação de materiais renováveis de baixo custo e de reduzido consumo de energia na Engenharia tornam-se exigências básicas atualmente. Os materiais industrializados mobilizam recursos financeiros, consomem muita energia e requerem processos centralizados em sua produção. Em conseqüência, entre outros impactos, várias atividades são suprimidas em áreas rurais ou mesmo em cidades de pequeno porte e materiais não renováveis são irreversivelmente desperdiçados, causando permanente poluição ambiental. A variedade de materiais hoje disponíveis para uso em Engenharia é extraordinariamente grande e com materiais cada vez mais especializados para aplicações específicas. As fibras vegetais representam, na constituição de um material compósito, um caso de particular relevância entre os materiais de Engenharia não clássicos. No entanto, para se entender melhor como se comporta esse material não convencional, torna-se necessário efetuar estudos de seus constituintes separadamente, ou seja, da fibra e da matriz.

A fibra vegetal possui algumas vantagens, como baixo módulo de elasticidade, alta absorção de água, se não for tratada pode sofrer ataques de fungos e insetos, além de apresentar grande variabilidade em suas propriedades para uma mesma espécie de fibra vegetal, segundo Ghavami e Tolêdo Filho (1992). No entanto, todos esses aspectos podem ser superados, e, para isso, pesquisas futuras devem ser feitas para que se possa usar esse material com segurança e economia.

Até então, nunca houve um engajamento mais intenso em termos de questões ambientais como existe agora. Com a chegada do novo milênio, o homem passou a refletir mais a fundo sobre sua existência e sobre a importância da preservação de sua espécie e do meio onde vive. Nos países industrializados, há uma maior mobilização em torno dessas questões. No Brasil, as iniciativas são poucas, mas ao menos existem e tendem a

crescer. Isso porque, além da questão da globalização, que ajuda a difundir essa idéia de ciências alternativas, o Brasil é um país muito rico em recursos naturais, o que pode ser um fator fundamental para o desenvolvimento de projetos com a utilização de materiais não-convencionais.

Esse trabalho tem como objetivo apresentar o comportamento à compressão de argamassas reforçadas com fibras vegetais, com destaque para a fibra de curauá. A intenção é a produção de materiais compósitos fibrosos como alternativa ao uso de amianto na produção de elementos estruturais ou não estruturais, pois o mesmo é comprovadamente maléfico à saúde humana, tendo sido proibido nos países industrializados nos anos 70.

2. Materiais

Na produção dos compósitos, foram utilizadas fibras vegetais de curauá, juta e sisal, como elementos de reforço, e matriz de argamassa de cimento Portland. Como mistura de referência, foi tomada à argamassa-padrão, com o intuito de evidenciar as diferenças de desempenho das misturas com e sem reforço.

Curauá é uma planta nativa originária da Amazônia, de cuja folha se produz uma fibra têxtil de natureza ligno-celulósica. Trata-se de uma bromeliácea, do tipo ananás, especificamente da espécie *Ananás erectipholius*. Existem duas espécies de Curauá, uma de folha roxo-avermelhada, que se desenvolve mais, e outra de folha verde-clara, chamada de Curauá branco. As folhas medem cerca de 5 cm de largura por 5 mm de espessura e o comprimento é de aproximadamente 1,5 m. O fruto é semelhante, em aspecto e sabor, ao do abacaxi, sendo, porém, mais fibroso, o que o torna impróprio para o consumo humano, além de apresentar menores dimensões que o anterior (Lobato de Siqueira, 2003).

O sisal apresenta várias mutações naturais geradas a partir da espécie *Agave fourcroydes*. Na atualidade, conhecem-se cerca de 57 espécies e 300 variedades (Fujiyama, 1997). Essa planta é resistente ao clima seco e é cultiva-

da em regiões tropicais e subtropicais e seu plantio é comum no Nordeste brasileiro. Uma característica dessa planta é que ela possui folhas grandes, pontiagudas e dispostas em roseta, semelhantes àquelas do abacaxi. Originou-se, segundo Ferri (1976), no México, espalhando-se, em seguida, para outras regiões do mundo, como África, Europa e Ásia.

Com o nome científico *Corchorus capsularis*, e originária da Índia, a juta é uma fibra resistente e apresenta módulo de elasticidade relativamente elevado, o que a torna conveniente para uso como reforço de matriz cimentícia. Do fio de juta são produzidos diversos tipos de telas usadas em confecções, decorações, revestimentos de piso e parede, artesanato, cortinas, sacolas, divisórias, base para gesso e sacarias (Tolêdo Filho, 1997).

O cimento utilizado foi o Portland composto com filler (CPII-F-32), da marca Mauá. A água utilizada foi obtida da rede de abastecimento da cidade do Rio de Janeiro.

Utilizou-se areia natural, oriunda da região metropolitana do Rio de Janeiro. Para esse agregado, foi determinada a massa unitária no estado seco, de acordo com a NBR 7251- Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária (ABNT 1982), resultando em 1,47 g/cm³. A determinação da massa específica real foi feita de acordo com a NBR 9776 - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman (ABNT 1987), obtendo-se o valor de 2,63 g/cm³. A composição granulométrica foi, também, determinada de acordo com a NBR 7217 - Agregados - Determinação da composição granulométrica (ABNT 1987), estando a curva granulométrica obtida representada na Figura 1. Os resultados do módulo de finura e de diâmetro máximo da areia foram, respectivamente, 2,69 e 4,8 mm.

Essa areia foi considerada descontínua, pois apresentou grande concentração de grãos numa determinada faixa de tamanho, entre 0,60 e 1,20 mm. Não houve necessidade de determinação dos teores de umidade do agregado miúdo,

pois, antes da medida da massa a ser misturada, era procedida a secagem em estufa até a constância de massa.

3. Método experimental

Buscou-se adotar, para a confecção dos corpos-de-prova utilizados nesse estudo, padrões de traço, dimensões de espécimes e tipos de ensaios já adotados, em trabalhos anteriores, com compósitos de argamassa e fibra vegetal. Esses trabalhos (Tolêdo Filho, 1997; Fujiyama, 1997; Rodrigues, 1999) desenvolvidos no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio, adotaram metodologias de produção e testes dos compósitos bastante semelhantes a este. O intuito foi o de possibilitar o estabelecimento de comparações entre os resultados obtidos, principalmente entre a influência das fibras já utilizadas anteriormente (sisal e coco) e aquelas adotadas no presente estudo (curauá, juta, além de sisal).

Com relação ao traço da mistura, os trabalhos anteriormente citados utilizaram a proporção em massa 1:1:0,40 (cimento: areia: relação água/cimento). Nesse trabalho, tentou-se, inicialmente, uma mistura com essa mesma proporção. Observou-se, porém, que, ao se tentar inserir o reforço com fibras de curauá, com fração volumétrica de 3%, a mistura tornou-se muito pouco trabalhável, dificultando a homogeneização do compósito. A mistura tomou aspecto de aspereza, como se a água adicionada tivesse sido toda ela absorvida pela fibra e a mistura houvesse se tornado instantaneamente seca. Assim, adotou-se um fator água/cimento mais elevado. Para se chegar ao valor, de 0,59, várias tentativas foram feitas, com valores crescentes dessa relação, até alcançar uma mistura com um mínimo de trabalhabilidade.

Desse modo, os compósitos estudados foram confeccionados com argamassa de traço em massa 1:1:0,59, com frações volumétricas das fibras de curauá, juta e sisal de 2% e 3% e comprimentos de fibras de 15 mm, 25 mm e

45 mm. Para o ensaio de compressão simples, foram moldados seis corpos-de-prova cilíndricos, com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, para cada mistura. Foram utilizadas formas metálicas (casca cilíndrica, haste e base metálica) como mostra a Figura 2.

Antes da pesagem dos materiais, os constituintes da mistura passaram por alguns processos. A areia foi seca em estufa até constância de massa, depois foi peneirada com peneira de abertura de 4,8 mm. As fibras vegetais (curauá, sisal, juta) também foram secas em estufa até constância de massa e cortadas em comprimentos iguais a 15 mm, 25 mm ou 45 mm para cada tipo de mistura.

Os materiais constituintes assim preparados foram levados a uma argamassadeira, com capacidade da cuba de 5 L, para proceder à mistura. Primeiramente misturou-se o cimento e a areia seca, seguindo-se da adição da água, aos poucos, até a obtenção de uma certa plasticidade para a argamassa. Logo após, foram adicionadas as fibras, também aos poucos, até que a mistura atingisse a homogeneização total.

Para os corpos-de-prova cilíndricos, a argamassa foi colocada dentro dos moldes em quatro camadas, adensadas com 30 golpes do soquete-padrão. Após preencher o molde, o material foi levado a uma mesa vibratória e submetido à vibração por 1 min.

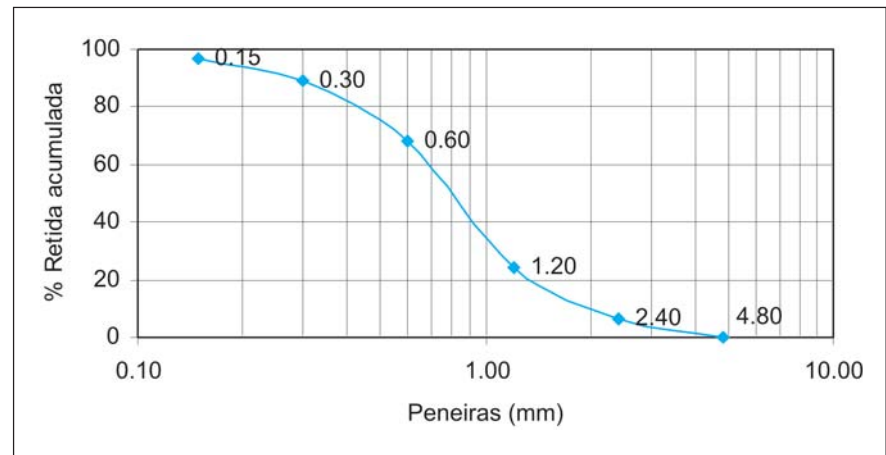


Figura 1 - Curva granulométrica da areia.

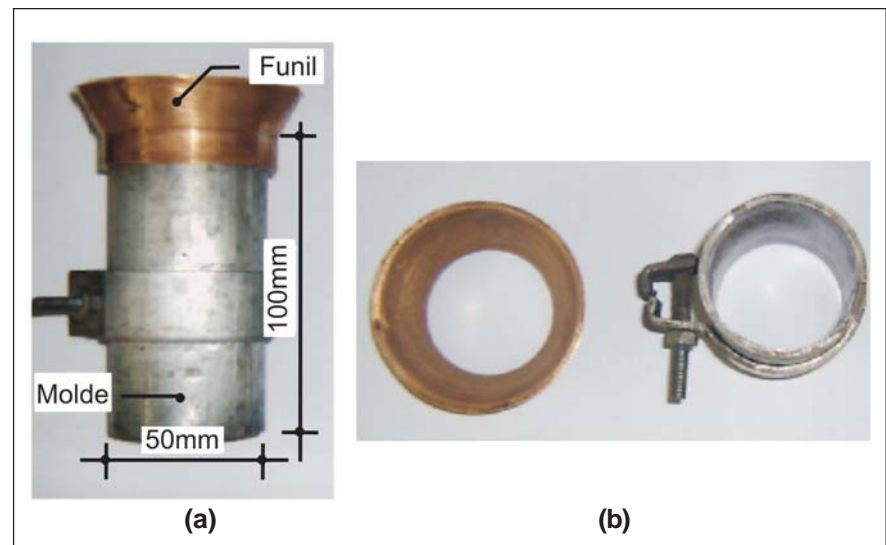


Figura 2 - (a) Vista frontal do molde cilíndrico com $\varnothing = 50$ mm e $L = 100$ mm, (b) Vista superior do molde cilíndrico.

equações 1 e 2, respectivamente. Foi determinado o coeficiente de Poisson para cada mistura, como a média aritmética dos seis corpos-de-prova. O módulo de elasticidade (E) foi calculado através dos gráficos de tensão-deformação, tomando-se a secante do trecho considerado como o de maior linearidade na zona elástica do gráfico. A Figura 4 mostra o esquema do processo usado para determinar o módulo de elasticidade.

$$\nu = \frac{\epsilon_t}{\epsilon_l} \quad (1)$$

$$\epsilon_v = \epsilon_l - 2\epsilon_t \quad (2)$$

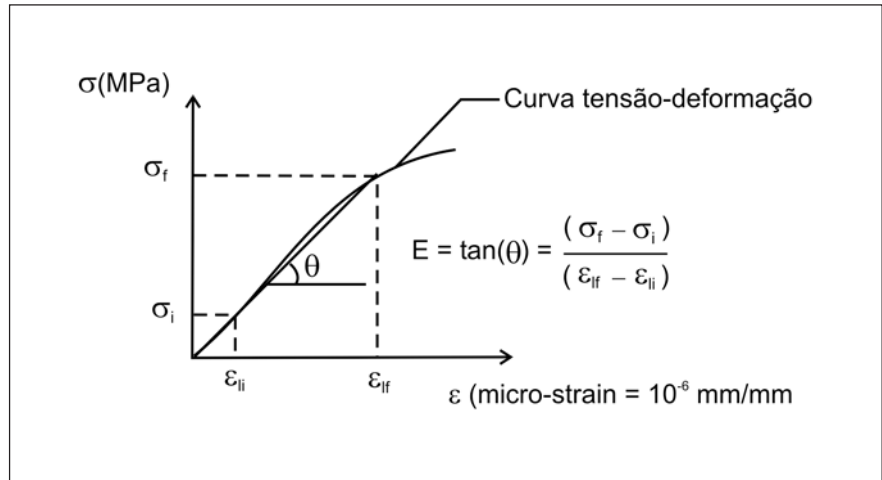


Figura 4 - Esquema para cálculo do módulo de elasticidade.

4. Resultados

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios à compressão. Através dos valores de carga e deformação obtidos experimentalmente, traçaram-se os gráficos tensão-deformação, possibilitando a obtenção da relação constitutiva à compressão dos compósitos com fibras de curauá, juta e sisal, bem como da mistura de referência.

A Figura 5 mostra a curva tensão-deformação dos compósitos com fibras de curauá, com variados comprimentos de fibra e de fração volumétrica, juntamente com a curva da mistura de referência. Percebe-se o ganho considerável de capacidade de deformação da argamassa com a inserção da fibra vegetal como reforço. Embora seja mostrada a redução da resistência à compressão máxima, com o acréscimo da fibra, o ganho de desempenho, em termos de ductilidade e capacidade de resistência após a fissuração da matriz, torna os compósitos com essas fibras vegetais vantajosos, em relação à matriz sem reforço, em aplicações nas quais sejam visadas a maior tenacidade e a maior resistência ao impacto. O compósito com fibras de curauá, de comprimento igual a 25 mm e fração volumétrica de 3%, foi o que apresentou melhor resistência média, atingindo cerca de 92,4% da resistência à compressão da matriz sem reforço, de igual relação água/cimento (0,59).

Houve sensível diminuição do módulo de elasticidade da matriz (38,51 GPa)

Tabela 2 - Resultados dos ensaios à compressão.

Material	≅ _{máx.} (MPa) - CV (%)	E (GPa) - CV(%)	Coef. Poisson - CV (%)
CPN00-0%*	52,61 - 9,34	35,64 - 21,58	0,30 - 12,74
CPN00-0%	23,84 - 25,90	38,51 - 25,91	0,22 - 17,78
CPC15-3%	11,77 - 18,99	24,17 - 28,86	0,18 - 56,72
CPC25-2%	10,64 - 3,02	19,11 - 65,54	0,16 - 1,34
CPC25-3%	22,04 - 4,86	26,19 - 28,92	0,25 - 35,60
CPC45-3%	16,83 - 23,48	22,57 - 34,49	0,22 - 35,91
CPS25-3%	18,15 - 13,52	18,24 - 31,29	0,19 - 53,24
CPJ25-3%	18,26 - 15,01	29,33 - 31,87	0,28 - 15,33

* argamassa com fator água/cimento 0,40, que seria a mistura de referência, caso fosse esse o fator adotado para os compósitos.

com a inserção das fibras de curauá. Para o compósito de maior resistência (CPC25-3%), o módulo de elasticidade (26,19 GPa) foi 32% inferior ao da matriz.

Comparando-se os compósitos com fibras de curauá com compósitos reforçados com outros tipos de fibras vegetais (Figura 6), pode ser observado que a resistência à compressão dos primeiros foi superior, em cerca de 22%, à resistência dos compósitos com fibras de sisal e juta, de mesma matriz, comprimento de fibra (25mm) e fração volumétrica (3%). Esses valores de resistência à compressão de compósitos com fibras de sisal e juta, usadas nessa comparação, foram obtidos em ensaios execu-

dos no programa experimental desse estudo.

Petrucci (1978) forneceu um valor de 73,5 MPa como valor característico da resistência à compressão do cimento-amianto. Os valores obtidos, dessa propriedade, para compósitos de argamassa e fibra vegetal, se situaram muito aquém daquele do cimento-amianto.

5. Conclusões

Os compósitos reforçados com fibras vegetais apresentam resultados de resistência à compressão com grandes variações. Presume-se que tal ocorrência se deva ao fato de serem essas fibras

materiais naturais, que não passam por processos industriais sofisticados que os padronize, e que provêm de seres vivos, conseqüentemente sujeitos às variações e heterogeneidade inerentes à sua própria natureza.

A inserção de fibras de curauá à matriz cimentícia foi responsável por conferir maior ductilidade ao compósito após a fissuração da matriz. Assim, ao invés da fratura frágil apresentada pela matriz no início da fissuração, o compósito continua a absorver energia, apresentando grandes deformações. Embora tenha ocorrido um decréscimo da resistência com a inserção de fibras, percebe-se o ganho considerável da energia de deformação.

Com a inserção de fibras vegetais, foram obtidos melhores resultados do que os da mistura de referência. Para um mesmo comprimento e fração volumétrica de fibras, o compósito que apresentou o melhor resultado foi aquele reforçado com fibras de curauá. Comparando-se os diferentes compósitos com fibras de curauá, o melhor desempenho foi obtido para um comprimento e uma fração volumétrica de fibra de 25 mm e 3%, respectivamente (mistura CPC25-3%).

6. Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT 1982 - NBR 7251- Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT 1987 - NBR 9776 - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT 1987 - NBR 7217 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.

FERRI, M. G. *Plantas produtoras de fibras*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda, 1976.

FUJIYAMA, R. T. *Argamassa de cimento reforçada por fibras de sisal: caracterização mecânica e microestrutural*. Rio de Janeiro:

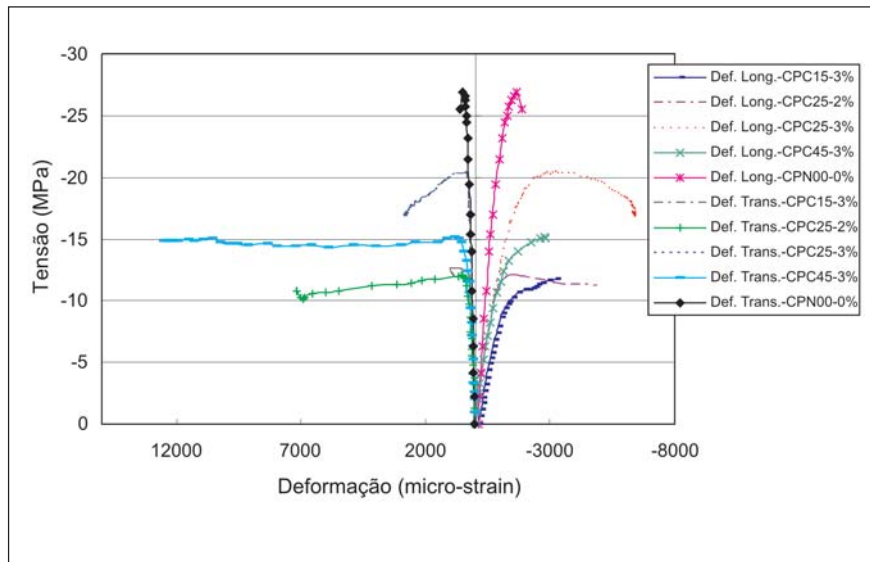


Figura 5 - Tensão-deformação na compressão de compósitos com fibra de curauá.

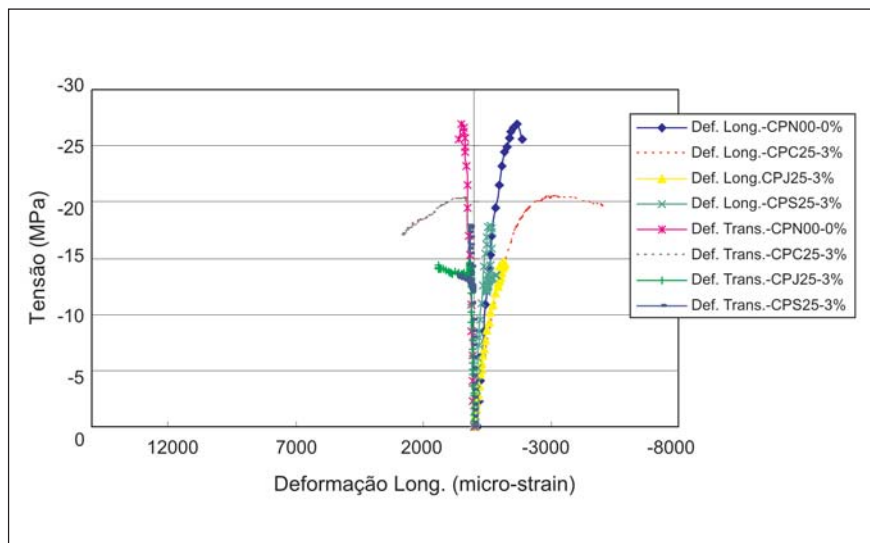


Figura 6 - Tensão-deformação na compressão de compósitos com fibras variadas.

Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia PUC-Rio, 1997. (Dissertação de Mestrado).

GHAVAMI, K., TOLEDO FILHO, R. D. Desenvolvimento de materiais de construção de baixo custo de energia usando fibras naturais, terra e bambu. *Revista Engenharia Agrícola*, Editora Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, v.1, n.1, p.1-19, 1992.

LOBATO DE SIQUEIRA, J. Estudo comparativo entre a utilização da fibra de polipropileno e a fibra de curauá em concretos e argamassas cimentícias. Universidade da Amazônia-UNAMA, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia-CCET, 2003. (Trabalho de Conclusão de Curso).

PETRUCCI, E. G. R. *Matérias de construção*. Porto Alegre: Globo, 1978.

TOLÊDO FILHO, R. D. *Materiais compósitos reforçados com fibras naturais: caracterização experimental*. Rio de Janeiro: DEC-PUC-Rio, 1997. (Tese de doutorado).

TOLEDO FILHO, R. D., GHAVAMI, K. Comportamento em compressão de argamassas reforçadas com fibras naturais, I. Relação tensão-deformação experimental e processo de fratura. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, v. i, p.79-88, 1997.

Artigo recebido em 21/02/2006 e aprovado em 01/08/2007.