

# AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA FIBRA DO CURAUÁ, UTILIZANDO ANÁLISE DE WEIBULL <sup>1</sup>

Ailton da Silva Ferreira<sup>2</sup>  
Sergio Neves Monteiro<sup>3</sup>  
Felipe Perissé Duarte Lopes<sup>4</sup>  
Eduardo Atem de Carvalho<sup>5</sup>

## Resumo

A heterogeneidade nas dimensões e nas propriedades das fibras de curauá, como em todas as fibras lignocelulósicas, constitui-se em uma limitação para sua aplicação em compósitos. Assim, o presente trabalho avaliou a resistência mecânica da fibra de curauá, utilizando a análise estatística de Weibull, em função do diâmetro da fibra. Através de uma distribuição dimensional identificou-se nove intervalos de diâmetro. Vinte fibras de curauá foram então selecionadas para cada intervalo, medindo-se o diâmetro em um projetor de perfil. Ensaios de tração foram conduzidos em cada fibra e a resistência máxima foi correlacionada com o intervalo de diâmetro. Os resultados mostram uma sensível variação na resistência com o diâmetro da fibra. Por meio de observações por microscopia eletrônica de varredura da superfície de fratura, procurou-se identificar o mecanismo responsável por esta variação.

**Palavras-chave:** Fibras contínuas de curauá; Análise Weibull; Ensaios de tração; Correlação entre o diâmetro.

## CURAUÁ FIBER MECHANICAL PROPERTIES EVALUATION BY THE WEIBULL ANALYSIS

### Abstract

The heterogeneous dimensions and the non-uniform properties that are common characteristics of a lignocellulosic fiber, represent a limitation for using curauá fiber in composites. Therefore, in this work the mechanical properties of curauá fibers were evaluated, in terms of a Weibull analysis, as a function of the fibers diameter. By means of a dimensional statistic, nine diameter intervals were initially identified. Then, twenty fibers were selected for each interval by precise diameter measurement in a profile projector. Tensile tests were conducted for each fiber and the ultimate strength was correlated with the diameter interval. The results showed a significant variation of the strength with the fiber's diameter. Through scanning electron microscopy observation of the fiber fracture surface, an attempt was made to identify the mechanism responsible for the strength variation with the diameter.

**Keywords:** Curauá fiber; Weibull analysis tensile test; Strength vs. diameter correlation.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> M.Sc.Doutorando, Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, CCT/UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, 28015-620, Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil. [ailtonsilvaferreira@yahoo.com.br](mailto:ailtonsilvaferreira@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> PhD, Professor Titular, LAMAV – CCT/UENF.

<sup>4</sup> Graduando, LAMAV – CCT/UENF.

<sup>5</sup> PhD, Professor. LAMAV – CCT/UENF.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos primórdios da civilização humana surgiram os primeiros compósitos reforçados com fibras naturais, como por exemplo a mistura de barro com palha para fabricar tijolos de adobe. Até algumas décadas atrás, pouco interesse tecnológico existia em relação a estes compósitos naturais, pois todo o esforço de desenvolvimento concentrava-se nas fibras sintéticas, sobretudo a fibra de vidro e a de carbono, como reforço à matriz de compósitos.<sup>(1,2)</sup>

Atualmente, com a crescente preocupação relativa aos problemas ambientais associados à poluição causada por produtos sintéticos difíceis de serem reciclados e também devido a mudanças climáticas decorrentes do intenso uso de combustíveis fósseis, as fibras naturais passaram a ser consideradas como alternativas viáveis por diversos setores industriais. Em particular, no setor automobilístico estima-se um crescimento de aproximadamente 20% no emprego de componentes baseados em compósitos reforçados com fibras naturais.<sup>(3-5)</sup> O fato marcante é que nestas últimas décadas, um grande esforço de pesquisa e desenvolvimento vem sendo realizado em compósitos reforçados com fibra naturais. Isto pode ser comprovado por diversos artigos de revisão sobre o assunto.<sup>(6-9)</sup>

O Brasil vem acompanhando este esforço mundial, especialmente por dispor de um grande número de fibras naturais derivadas de vegetais.<sup>(10)</sup> Algumas destas fibras lignocelulósicas, como o curauá (*Ananas erectifolius*), por serem resistentes e leves, são fortes candidatas a substituírem a fibra de vidro em compósitos industriais.<sup>(2,11)</sup> Vale também lembrar que estas fibras lignocelulósicas apresentam diversas outras vantagens como serem baratas, diversificadas, abundantes, renováveis, biodegradáveis e neutras em relação à emissão de CO<sub>2</sub> (principal responsável pelo aquecimento global). Comparativamente com as fibras sintéticas, as lignocelulósicas usadas como reforços de compósitos apresentam excelente formabilidade, não são abrasivas aos equipamentos e consomem menos energia no processamento.<sup>(1)</sup>

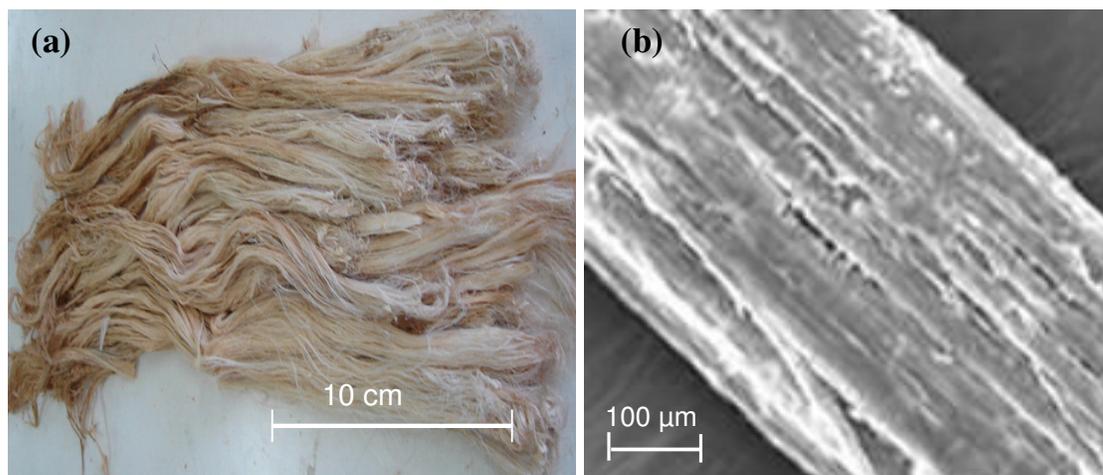
Entretanto, as fibras naturais também possuem desvantagens para emprego industrial em compósitos. Um problema é a heterogeneidade dimensional e morfológica.<sup>(2)</sup> Isto implica em grande variabilidade nas suas propriedades, sobretudo na sua resistência mecânica. Em princípio esta limitação poderia ser transposta através da seleção de fibras com maior resistência e menor dispersão nos valores. Mas, como identificar estas melhores fibras? Caso exista uma correlação entre dimensões da fibra e suas propriedades mecânicas, esta seleção se tornaria viável. Assim o objetivo deste trabalho foi realizar uma investigação preliminar da possibilidade estatística, através da análise Weibull, de se correlacionar a resistência a tração de fibras de curauá com seu diâmetro.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

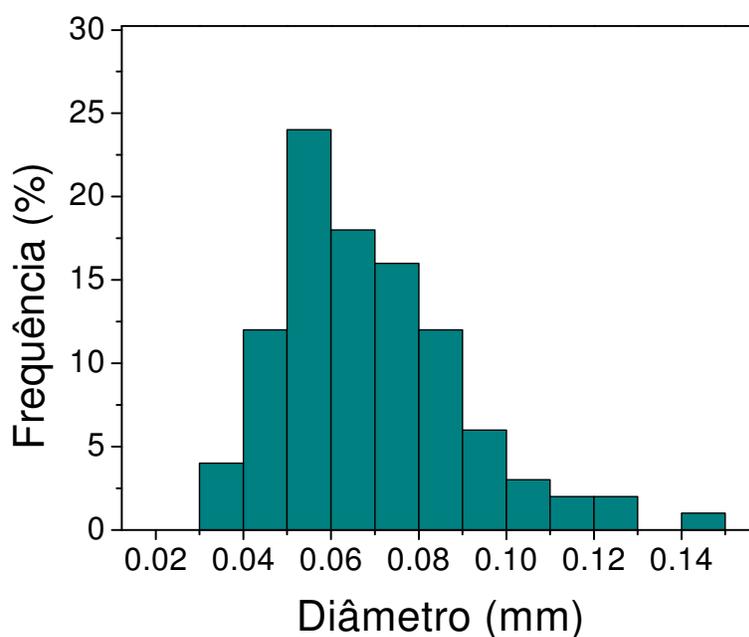
Nesta investigação foram empregadas fibras de curauá adquiridas da empresa Amazon Paper na forma de grandes mechas, conforme ilustrado na Figura 1. Nesta figura também está apresentado o aspecto por microscopia eletrônica de uma de suas fibras, a qual é composta de filamentos paralelos.

A partir da retirada aleatória de 100 fibras individuais da mecha, efetuou-se uma análise da distribuição do diâmetro, cujo resultado pode ser visto na Figura 2. Esta mesma figura já havia sido apresentada em outras publicações,<sup>(2,12-16)</sup> mas

merece ser mostrada, uma vez mais, pois se constitui em um dos fundamentos da presente investigação.



**Figura 1.** Mecha de fibras de curauá (a); aspecto filamentar de uma das fibras observada por microscopia eletrônica de varredura (b).



**Figura 2.** Histogramas da distribuição dos diâmetros das fibras de curauá.

Os nove intervalos de diâmetros de 0,03 mm a 0,12 mm indicados na Figura 2 foram arbitrariamente escolhidos. No presente trabalho, estes intervalos de diâmetro: 0,03 a 0,04; 0,04 a 0,05; etc.....até 0,11 a 0,12 serviram como etapa inicial para se investigar a correlação entre diâmetro e resistência a tração das fibras de curauá.

Em uma segunda etapa, tendo por base a distribuição na Fig. 2, retirou-se da mecha como recebida (Figura 1a), 20 ou mais fibras com diâmetros correspondentes a cada um dos nove intervalos, ou seja, um total de quase 200 fibras. Todas estas fibras tiveram seus diâmetros medidos em 5 posições, considerando a média de duas medidas girando a fibra de 90°, em cada posição. As medições foram realizadas em um projetor de perfil Nikon modelo 6C, como mostrado na Figura 3.

Todas as fibras foram ensaiadas em tração em máquina Instron modelo 5582 utilizando garras especiais que preveniam o deslizamento e evitavam danificar a fibra. Os ensaios foram conduzidos em ambiente climatizado a 25°C a uma taxa de deformação de  $4.2 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ . Os valores das propriedades mecânicas das fibras de curauá foram analisados estatisticamente pelo método de Weibull utilizando-se o programa de computador *Weibull Analysis*.

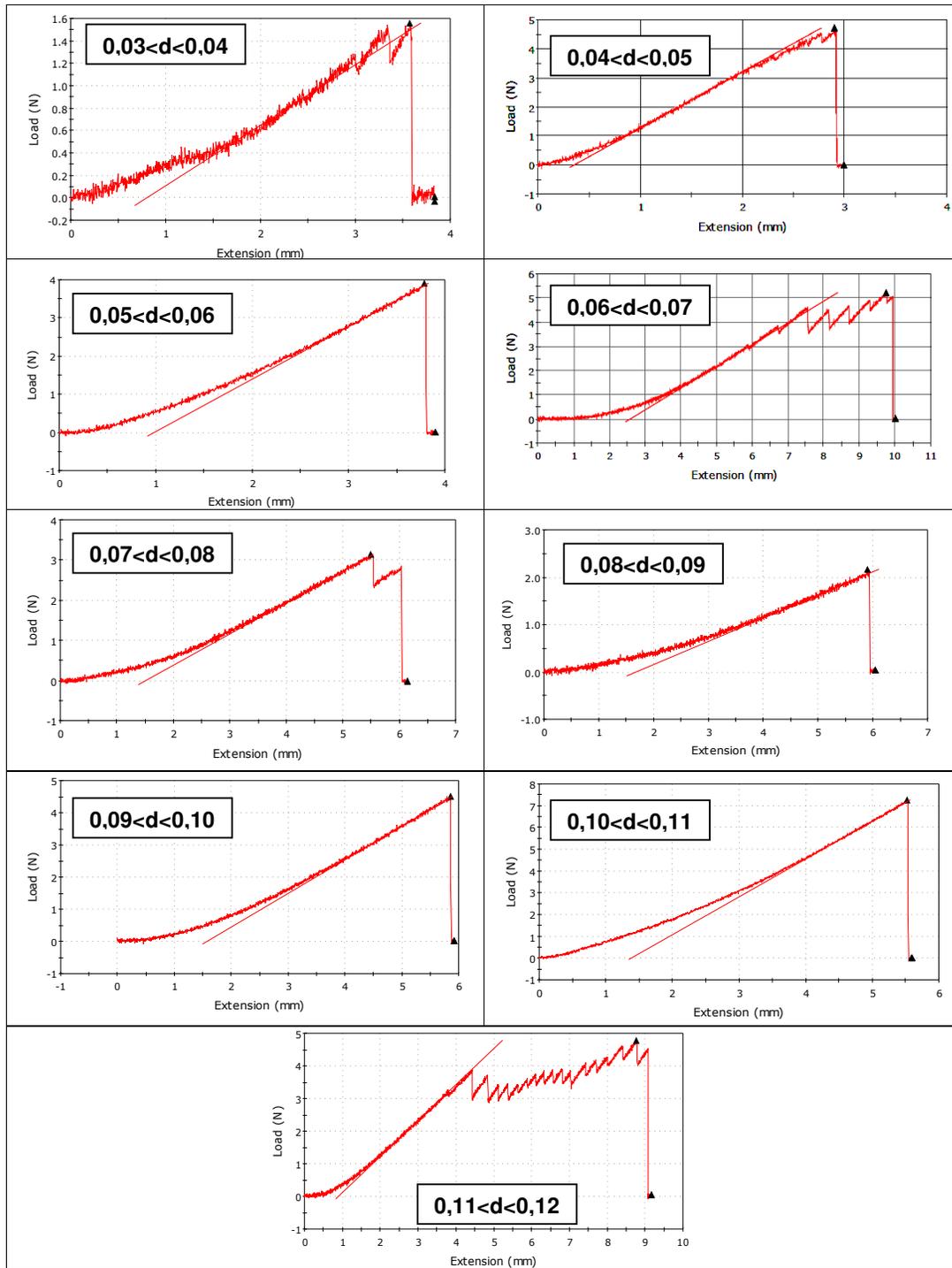


**Figura 3.** Projeto de perfil Nikon, utilizado para medir os diâmetros das fibras de curauá.

Após os ensaios de tração, selecionaram-se algumas fibras rompidas para observação por microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície de fratura em um microscópio Jeol modelo JSM 6460 operando com elétrons secundários a 15 KV.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Tendo em vista os resultados dos ensaios de tração, obteve-se diretamente da máquina Instron curvas, como as que estão ilustradas na Figura 4.

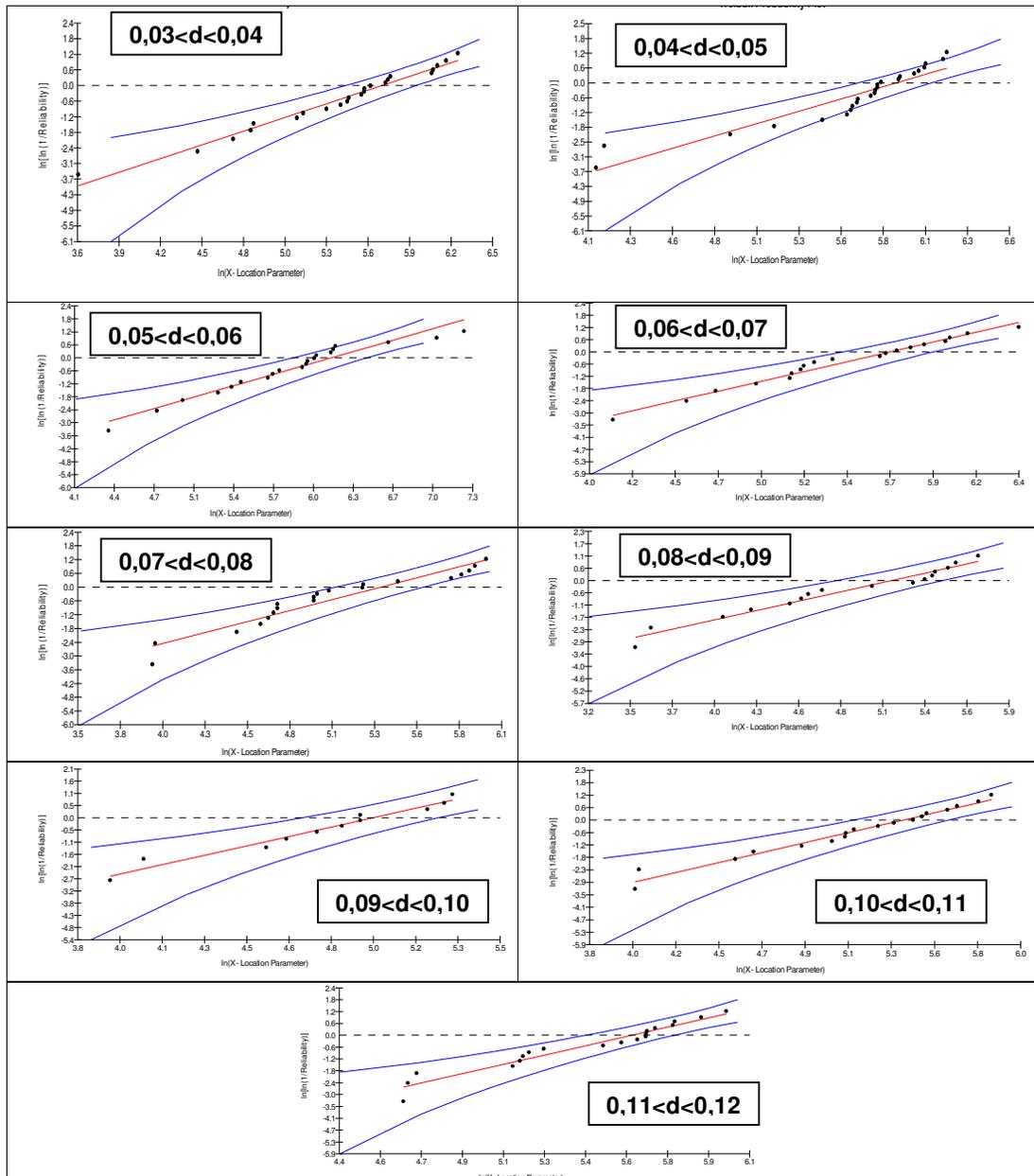


**Figura 4.** Curvas de tração típicas para fibras de curauá com diferentes diâmetros correspondentes a cada intervalo estatisticamente considerado.

Em boa parte das curvas obtidas, notam-se oscilações nos valores da carga de resistência da fibra à solitação mecânica da máquina Instron. Estas oscilações, que também podem ser consideradas como serrilhações na curva, correspondem ao processo de separação gradativo dos filamentos que compõem uma fibra de curauá (Figura 1b). Para cargas mais altas, aproximando-se da ruptura da fibra, os filamentos vão aos poucos se rompendo e, com isto, as serrilhações são

amplificadas. Isto está exemplificado na curva do intervalo dos diâmetros maiores, entre 0,11 mm e 0,12 mm, na Figura 4. Naturalmente, por se tratar de um diâmetro maior, esta fibra possui mais filamentos para serem rompidos.

O conjunto das curvas de tração, como as ilustradas na Figura 4, foi analisado pelo método estatístico de Weibull. A Figura 5 apresenta os gráficos da probabilidade de Weibull obtidos.



**Figura 5.** Gráficos da probabilidade de Weibull para os intervalos considerados de diâmetros das fibras de curauá.

Os gráficos nesta figura são referentes aos resultados da máxima tensão em tração para cada intervalo de diâmetros considerado para as fibras de curauá. Neles é possível se observar uma reta central que se ajusta às tensões máximas referentes às 20 ou mais fibras consideradas para aquele intervalo de diâmetro. O

programa *Weibull Analysis* também traça duas curvas limitando o intervalo considerado para efeito de determinação dos parâmetros de probabilidade.

Considerando-se os gráficos de Weibull na Figura 5 para os distintos intervalos de diâmetros, o programa calculou os valores dos parâmetros de probabilidade estatística de Weibull, utilizando o Método da Máxima Verossimilhança,<sup>(17)</sup> conforme listado na Tabela 1. Neste método, considerou-se o parâmetro de posição,  $\delta$ , como sendo nulo. Caso fosse atribuído um valor diferente de zero para  $\delta$ , seriam obtidas probabilidades negativas.

**Tabela 1.** Parâmetros de Weibull para os intervalos considerados de diâmetros das fibras de curauá

Intervalo de diâmetro (mm)	$\beta$	$\theta$	$R^2$	Tensão Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
0,03 - 0,04	1,85	307,4	0,977	273,1	153,5
0,04 - 0,05	2,09	374,3	0,879	331,5	166,7
0,05 - 0,06	1,64	475,2	0,949	425,2	266,6
0,06 - 0,07	1,98	293,4	0,981	260,1	137,0
0,07 - 0,08	1,82	212,7	0,921	189,0	107,5
0,08 - 0,09	1,61	172,6	0,962	254,6	98,3
0,09 - 0,10	2,43	146,7	0,964	130,9	58,0
0,10 - 0,11	2,13	221,1	0,974	195,9	96,9
0,11 - 0,12	2,73	273,4	0,942	243,2	96,7

É importante lembrar que os parâmetros da Tabela 1 possuem as seguintes características:

$\beta$  – é o parâmetro de forma, mais conhecido como Módulo de Weibull. De um modo geral,  $\beta$  possui valores entre 0,5 e 15. Quanto mais próximo  $\beta$  estiver de 15, mais o valor médio se aproximará do parâmetro de escala e a variância tenderá a zero<sup>(18)</sup>.

$\theta$  - é o parâmetro de escala que indica o valor característico do que se está medindo com uma confiança de 63,8%. No presente trabalho,  $\theta$  representa a tensão máxima em tração característica das fibras de curauá.

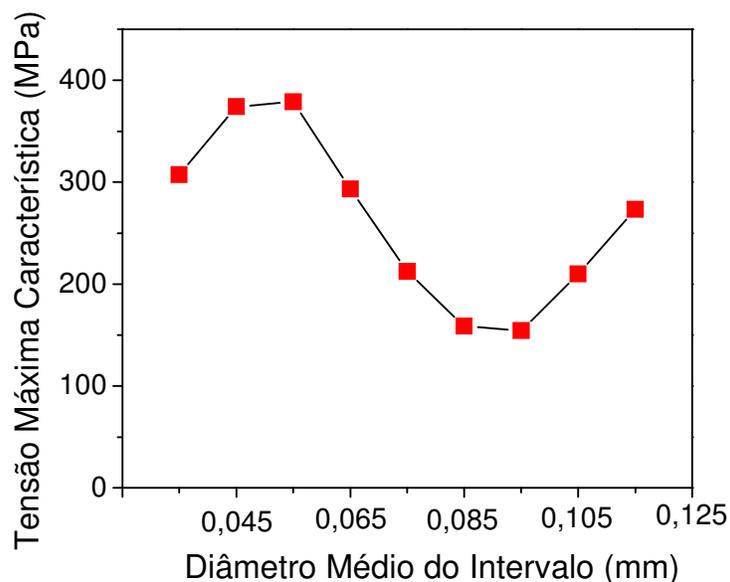
$R^2$  – é o parâmetro de ajuste pois indica o quanto os pontos do gráfico de Weibull estarão bem ajustados à sua reta central. O valor de  $R^2$  pode variar de 0 a 1. Quanto mais próximo o parâmetro estiver de 1, melhor ajustados estarão os pontos experimentais à reta central.

Com relação aos valores apresentados na Tabela 1, é importante comentar que  $\beta$  para todos os intervalos é relativamente baixo, não ultrapassando o valor de 3. Em princípio, isto significa que as distribuições de pontos associadas aos gráficos de Weibull da Figura 5 têm baixa representatividade estatística. Este assunto será tratado mais adiante.

Com base nos valores de da tensão máxima característica na Tabela 1, construíram-se os gráficos de suas variações com os respectivos diâmetros médios de cada intervalo como está mostrado na Figura 6. O fato marcante desta figura é a aparente seqüência contínua dos pontos. Basicamente, este comportamento das tensões máximas características implicaria em uma provável correlação com o diâmetro das fibras. Entretanto, os pontos das tensões se distribuem como se fosse uma onda senoidal (Figura 6). Esta variação com o diâmetro não tem aparentemente um sentido físico. Em um artigo sobre propriedades das fibras de curauá,<sup>(19)</sup> também investigaram a influência do diâmetro sobre a tensão máxima. Embora os autores tenham limitado a investigação a somente 5 intervalos de diâmetro, sem indicar a

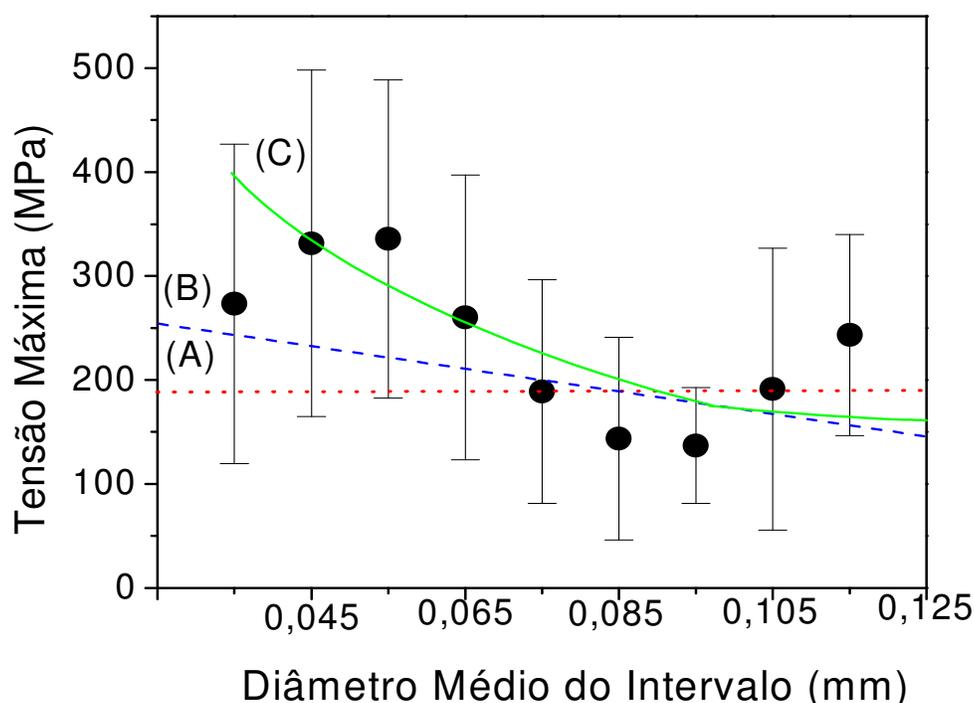
precisão nos valores (barra de erro), os resultados mostram uma tendência da tensão máxima variar inversamente com o diâmetro.

Na Figura 6, parece também existir esta tendência inversa. Entretanto, como foi mencionado,  $\beta$  na Tabela 1 tem valores relativamente baixos, o que compromete a representatividade estatística dos resultados. Para tentar esclarecer esta dúvida de como varia a tensão com o diâmetro, foi elaborada a curva de variação do valor médio das tensões máximas com os respectivos desvios padrão, dados na Tabela 1, em função dos correspondentes diâmetros médios de cada intervalo.



**Figura 6.** Tensão máxima característica,  $\theta$ , em função do diâmetro médio de cada um dos nove intervalos considerados.

A Figura 7 apresenta esta curva onde devem ser notadas as grande barras de erro associadas aos desvios padrão. Esta figura esclarece a dúvida quanto à correlação entre tensão máxima e diâmetro. Na realidade, dentro da faixa de variação das barras de erro, é possível traçar uma reta horizontal em um nível ligeiramente abaixo de 200 MPa. Isto significa um valor constante da tensão máxima com o diâmetro da fibra de curauá como indicado pela reta horizontal (A), vermelha pontilhada, na Figura 6. Entretanto, é possível também traçar uma reta (B), azul tracejada, com inclinação negativa por entre todas as barras de erro. Mais importante ainda, não é possível traçar por entre todas as faixas de barras de erro uma reta com inclinação positiva.



**Figura 7.** Valor médio da tensão máxima em tração em função do diâmetro médio de cada um dos nove intervalos considerados.

Preliminarmente, desta avaliação estatística pode-se concluir que para as fibras de curauá a tensão máxima em tração: ou não varia (horizontal (A)) ou então varia inversamente (reta (B)) com o diâmetro da fibra, como no artigo de Tomczak et al.<sup>(19)</sup>. Naturalmente que outras correlações, como curvas senoidais ou polinomiais, podem ser traçadas entre as barras de erro da Figura 7. No entanto, essas outras correlações oscilantes carecem de qualquer sentido físico aparente e assim devem ser desconsideradas. Apesar de permanecer uma certa dúvida, no presente trabalho sugere-se que a tensão máxima esteja variando hiperbolicamente com o diâmetro das fibras de curauá. Esta variação corresponde à curva (C), verde contínua, que também pode ser traçada por entre todas as barras de erro da Figura 7.

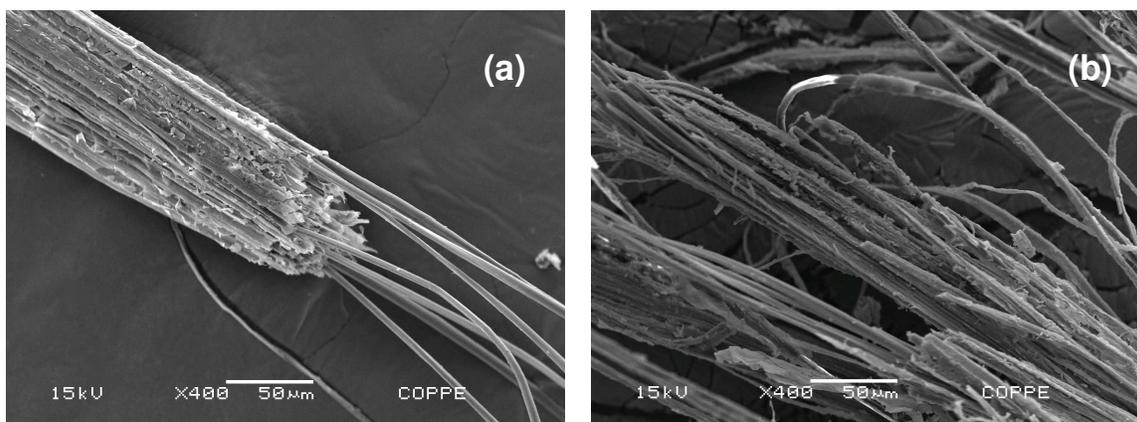
Em suporte a esta sugestão, existem dois fatos. O primeiro é que os pontos médios dos histograma de tensão vs. diâmetro, Figura 4 do artigo de Tomczak et al.<sup>(19)</sup> se ajustam bem melhor a uma hipérbole do que a uma reta. O segundo fato é a inequívoca relação hiperbólica encontrada recentemente para a dependência da tensão máxima em tração com o diâmetro médio equivalente em fibras de buriti.<sup>(20)</sup>

Com base na curva (C) traçada entre os pontos na Figura 7, calculou-se a equação da hipérbole que melhor se ajustaria. Essa equação aproximada corresponde à correlação entre a média das tensões máximas,  $\bar{\sigma}_m$ , e o diâmetro médio,  $d$ , das fibras de curauá:

$$\bar{\sigma}_m = 10 / d + 68 \quad (1)$$

A observação por MEV das pontas rompidas em tração das fibras de curaua complementam a análise do presente trabalho. A Figura 8 apresenta o aspecto da

fratura de fibras de curauá com diferentes diâmetros. Para o menor diâmetro (Figura 8a), nota-se uma fratura mais uniforme e envolvendo os poucos filamentos que compõem a fibra.



**Figura 8.** Fractografia por MEV das pontas rompidas de fibras de curauá: (a) mais fina,  $d = 0,08$  mm, e (b) mais grossa,  $d = 0,12$  mm.

Por outro lado, a fibra com maior diâmetro (Figura 8b), tem fratura menos uniforme associada a partes distintas e envolvendo maior número de filamentos. Sob o ponto de vista estatístico, se a fibra deve romper todos os filamentos para sua total fratura, aquela que possuir maior número, por ser mais grossa, terá maior chance de iniciar a ruptura de um dos seus filamentos à tensão menor do que a fibra mais fina com poucos filamentos na sua área da seção reta. Ou seja, com menor número de filamentos há mais chances da fibra mais fina resistir até tensões comparativamente mais altas.

#### 4 CONCLUSÕES

O método de probabilidade de Weibull aplicado a tensões máximas em tração de fibras de curauá não foi capaz de identificar com precisão uma relação com o diâmetro da fibra.

O parâmetro de escala,  $\theta$ , e o módulo de Weibull,  $\beta$ , por seus valores não permitiram estabelecer uma equação com significado físico que pudesse correlacionar a tensão máxima com o diâmetro das fibras de curauá. Foi constatada, todavia, uma aparente variação inversa.

Com base no gráfico da média das tensões máximas em função do diâmetro, e tendo em vista resultados de outras publicações, o presente trabalho sugere uma possível correlação hiperbólica entre a tensão máxima e o diâmetro das fibras de curauá. Em princípio, esta correlação atenderia os resultados da análise de Weibull ainda que com relativa incerteza.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à Faperj, CNPq, Capes e Fenorte/Tecnorte. É também motivo de agradecimento a permissão para uso do MEV pelo Prof. Luiz Henrique de Almeida do PEMM/COPPE/UFRJ.

## REFERÊNCIAS

- 1 CROCKER, J. Natural materials - Innovative natural composites. *Mater. Technol.*, v. 2-3 n. 3 p. 174-178, 2008.
- 2 MONTEIRO S.N.; LOPES, F.P.D.; FERREIRA, A.S.; NASCIMENTO, D.C.O. Natural fiber polymer matrix composites: cheaper, tougher and environmentally friendly. *JOM*, v. 61, n. 1, p. 17-22, 2009.
- 3 HILL, S. Cars that grow on trees. *New Scientists*, v. 153(2067), p. 36-39, 1997.
- 4 MARSH, G. Next step for automotive materials. *Mater. Today*, v. 6(4), p.36-43, 2003.
- 5 ZAH, R.; HISCHIER, R.; LEÃO, A.L.; BROWN, I. Curaua fibers in automobile industry – A sustainability assessment. *J. Cleaner Production*, v. 15, p. 1032-1040, 2007.
- 6 BLEZKI, A.K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose-based fibres. *Prog. Polym. Sci*, v. 24, p. 221-274, 1999.
- 7 NABI SAHEB, D.; JOG, J.P. Natural fiber polymer composites: A review. *Advances in Polymer Technology*, v. 18, p. 351-363, 1999.
- 8 EICHHORN, S. J.; BAILLIE, C.A.; ZAFEIROPOULOS, N.; MWAKAMBO, L.Y.; ANSELL, M.P.; DUFRESNE, A. Review of current international research into cellulosic fibres and composites. *J. Mater. Science*, v. 36, p. 2107-2113, 2001.
- 9 MOHANTY, A.K.; MISRA, M.; DRZAL, L.T. Sustainable biocomposites from renewable resources: Opportunities and challenges in the green materials world. *J. Polym. Environ.* v. 10, p. 19-26, 2002.
- 10 SATYANARAYANA, K.G.; WYPYCH, F.; GUIMARÃES, J.L.; AMICO, C.S.; SYDENSTRICKER, T.H.D.; RAMOS, L.P. Studies on natural fibers of Brazil and green composites. *Met. Mater. Proc.*, v. 17(3-4), p. 183-194, 2005.
- 11 WAMBUA P.; IVENS I.; VERPOEST I. Natural fibers: can they replace glass and fibre reinforced plastics?" *Composites Science and Technology*, v. 63, p. 1259-1264, 2003.
- 12 MONTEIRO, S.N.; FERREIRA, A.S.; LOPES, F.P.D. Rupture mechanism in composites reinforced with curaua fibers. In: *CHARACTERIZATION OF MINERALS, METALS & MATERIALS – TMS CONFERENCE*, Mar. 2008, New Orleans, EUA, p.1-6.
- 13 FERREIRA, A.S.; MONTEIRO, S.N.; LOPES, F.P.D., AQUINO, R.C.M.P. Análise da resistência ao impacto Charpy de compósitos com fibras alinhadas de curauá reforçando matriz de resina epóxi. In: *63º CONGRESSO ANUAL DO CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS – ABM*, Jul. 2008, Santos, Brasil, p. 1-10.
- 14 FERREIRA, A.S.; MONTEIRO, S.N.; LOPES, F.P.D.; AQUINO, R.C.M.P. Características estruturais e comportamento mecânico de compósitos epoxídicos reforçados com fibras de curauá. In: *63º CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS – ABM*, Jul. 2008, Santos, Brasil, p. 1-10.
- 15 MONTEIRO, S.N.; FERREIRA, A.S.; LOPES, F.P.D. A comparative study of curaua waste fibers reinforced epoxy matrix composites as building material. In: *GLOBAL SYMPOSIUM ON RECYCLING WASTE TREATMENT AND CLEAN TECHNOLOGY – REWAS 2008*, Out. 2008, Cancun, México, p. 1-6.
- 16 FERREIRA, A.S.; MONTEIRO, S.N.; LOPES, F.P.D.; MENEZES, G.W. análise da resistência ao impacto izod de compósitos com fibras alinhadas de curauá reforçando matriz de resina epóxi. In: *18º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS – CBECIMAT 2008*, Nov. 2008, Porto de Galinhas, PE, p. 1-12.
- 17 KAPUR, K.C.; LAMBERSON, L.R. *Reliability in Engineering Design*. Nova York: John Wiley & Sons, 1977
- 18 CARVALHO, E.A. Avaliação da influência do fator de localização e rank mediano no valor do módulo de Weibull em materiais frágeis. In: *62º CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS – ABM*, Jul. 2007, Vitória, ES, Brasil, p. 1-10.

- 19 TOMCZAK, F.; SATYANARAYANA, K.G.; SYDENSTRICKER, T.H.D. Studies on lignocelulosic fibers of Brazil: Part III – Morphology and properties of Brazilian curaa fibers. *Composites: Part A*, v. 38, p. 2227-2236, 2007.
- 20 PORTELA, T.G.R.; LOPES, F.P.D.; LOIOLA, R.L.; MONTEIRO, S.N.; CARVALHO, E.A. Avaliação da influencia do diâmetro na resistência à tração das fibras de buriti pelo método de Weibull. In: 64<sup>º</sup> CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS – ABM, Jul. 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil, p. 1-11.