

# AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO DIÂMETRO NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DAS FIBRAS DE BURITI PELO MÉTODO DE WEIBULL<sup>1</sup>

*Tammy Godinho Rodrigues Portela<sup>2</sup>*

*Felipe Perissé Duarte Lopes<sup>3</sup>*

*Rômulo Leite Loiola<sup>4</sup>*

*Sergio Neves Monteiro<sup>5</sup>*

*Eduardo Atem de Carvalho<sup>6</sup>*

## **Resumo**

Fibras naturais estão atualmente substituindo as fibras sintéticas, sobretudo por questões ambientais. A falta de uniformidade e grande dispersão dimensional das fibras naturais é, entretanto, uma desvantagem a esta substituição. No caso particular das fibras extraídas da palmeira buriti, pouco se conhece sobre suas propriedades e características dimensionais. Isto é um empecilho ao uso desta fibra em materiais compósitos. No presente trabalho, avaliou-se a resistência a tração de fibras de buriti em função das características dimensionais, particularmente o diâmetro equivalente, utilizando-se um método estatístico baseado na distribuição de Weibull. O diâmetro foi medido com precisão por meio de projetor de perfil. Ensaios de tração foram conduzidos em cada fibra para se obter sua resistência mecânica. Os resultados interpretados pela estatística de Weibull mostraram uma correlação entre a resistência da fibra e seu diâmetro. Análise por microscopia eletrônica de varredura indicaram possíveis razões para esta correlação.

**Palavra-chave:** Fibras de buriti; Ensaio de tração; Resistência mecânica; Estatística de Weibull.

## **EVALUATION OF THE DIAMETER INFLUENCE ON THE TENSILE STRENGTH OF BURITI FIBERS BY THE WEIBULL METHOD**

### **Abstract**

Natural fibers are nowadays substituting the synthetic fibers, owing mainly to environmental issues. The lack of uniformity and large dimensional dispersion in natural fibers is, however, a disadvantage for these substitutions. In the case of the fiber extracted from the buriti palm tree, little is known about its properties and dimensional characteristics. This is a drawback in terms of the application of these fibers in composite materials. Therefore, the present work evaluated the tensile strength of buriti fibers as a function of their dimensional characteristics, particularly the equivalent diameter, using a statistic method based on the Weibull distribution. The diameter was measured with precision by a profile projector. Tensile tests were conducted for each individual fiber to determine the mechanical strength. The results, interpreted by the Weibull statistical method, showed a correlation between the fiber strength and its diameter. An analysis by scanning electron microscopy indicated possible reasons for this correlation.

**Key words:** Buriti fiber; Tensile test; Mechanical strength; Weibull statistic method.

<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> *Graduando, CCT/UENF, tammygodinho@yahoo.com.br*

<sup>3</sup> *Graduando, CCT/UENF,*

<sup>4</sup> *D.Sc, Pesquisador, Lamav – CCT/UENF.*

<sup>5</sup> *PhD, Professor Titular, Lamav – CCT/UENF.*

<sup>6</sup> *PhD, Professor, Lamav – CCT/UENF.*

## 1 INTRODUÇÃO

Os compósitos se constituem atualmente na classe de materiais que mais se desenvolve, tendo em vista a vasta combinação de propriedades “engenheiradas”, ou seja, programadas a priori pelos projetistas, que não podem ser obtidas em materiais monolíticos convencionais a base de cerâmicas, polímeros e ligas metálicas.<sup>(1-3)</sup> Em especial, os compósitos reforçados com fibras sintéticas, podem atingir propriedades mecânicas superiores a quaisquer outros materiais.<sup>(4,5)</sup> Um exemplo marcante é o dos modernos aviões, tanto militares quanto comerciais, como o Airbus A-380, que possuem estruturas leves, com as mais elevadas resistência e rigidez mecânicas, somente obtidas com o emprego de compósitos grafiticos reforçados com fibras de carbono.<sup>(6)</sup> Fibras de vidro são as mais utilizadas em compósitos mais baratos para inúmeros produtos, desde raquetes de tênis até painéis de automóveis. Entretanto, todos estes compósitos reforçados com fibras de vidro, assim como quaisquer outras fibras sintéticas, trazem riscos ao meio ambiente. A produção e processamento das fibras sintéticas, requerem substancial quantidade de energia relacionada com grande emissão de CO<sub>2</sub>, o principal gás responsável pelo efeito estufa e causador de mudanças climáticas e aquecimento global.<sup>(7)</sup> Além disto, compósitos de fibras de vidro, especificamente, são difíceis de serem reciclados ou até incinerados para recuperação energética.<sup>(8)</sup> Vale também lembrar, que a fibra de vidro pode causar problemas de saúde como doenças respiratórias.

Embora ainda não seja viável substituir compósitos de alto desempenho reforçados com fibra de carbono por outra fibra com propriedades comparáveis, as fibras naturais estão tendo sucesso em substituir a fibra de vidro em compósitos mais simples, sobretudo na indústria automobilística.<sup>(9,10)</sup> As razões para esta preferência englobam não somente os aspectos ambientais, mas também vantagens técnicas e econômicas. Fibras naturais, particularmente as lignocelulósicas de origem vegetal, são recicláveis e não consomem tanta energia no processamento quanto às fibras de vidro. Além disto, as fibras lignocelulósicas são mais baratas, leves e menos abrasivas do que a fibra de vidro.<sup>(11)</sup> Isto tem motivado uma crescente aplicação de fibras lignocelulósicas tradicionalmente cultivadas como sisal, juta, coco, linho, cânhamo, rami, algodão e outras, como reforço destes compósitos mais simples.<sup>(12)</sup> Outras fibras lignocelulósicas menos reconhecidas para uso em compósitos, como piaçava,<sup>(13)</sup> curauá,<sup>(14)</sup> bucha<sup>(15)</sup> e buriti<sup>(16)</sup> estão hoje sendo investigadas por seu potencial de reforço. A fibra de buriti é certamente uma das lignocelulósicas menos conhecidas em termos de características dimensionais e propriedades mecânicas. Mesmo os trabalhos de revisão sobre aplicação de fibras naturais em compósitos<sup>(12,17-19)</sup> deixam de mencionar a de buriti.

Uma vez que a heterogeneidade dimensional e a grande dispersão nos valores do diâmetro das fibras lignocelulósicas são limitações para seu uso em compósitos,<sup>(17-19)</sup> o presente trabalho realizou uma análise estatística, pelo método de Weibull,<sup>(20)</sup> sobre a influência do diâmetro na resistência a tração de fibras de buriti.

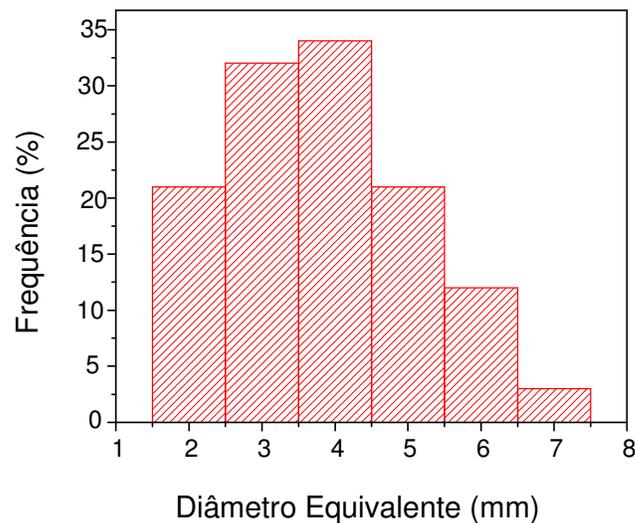
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Fibras extraídas das folhas da palmeira buriti (*Mauritia flexuosa*), ilustrada na Figura 1, foram adquiridas como um feixe de uma empresa brasileira especializada em fibras naturais.



**Figura 1.** Buritizeiro (palmeira de buriti) e as fibras extraídas das folhas.

Do feixe como recebido, retirou-se aleatoriamente 100 fibras para uma avaliação da distribuição dimensional. Estas fibras foram limpas com água e secas em estufa a 60°C por duas horas. Nenhum tratamento foi aplicado à superfície das fibras. A Figura 2 apresenta a distribuição obtida para o diâmetro equivalente das fibras de buriti. O diâmetro equivalente corresponde à média entre a largura e a espessura, já que as fibras de buriti são achatadas como faixas. Para cada fibra, o diâmetro equivalente foi medido em cinco posições espaçadas ao longo do comprimento. Foram considerados então, com base na Figura 2, os seguintes intervalos em mm de diâmetros equivalentes:  $1,5 < d < 2,5$ ;  $2,5 < d < 3,5$ ;  $3,5 < d < 4,5$ ;  $4,5 < d < 5,5$ ;  $5,5 < d < 6,5$  e  $6,5 < d < 7,5$ .



**Figura 2.** Distribuição do diâmetro equivalente das fibras de buriti do feixe como recebido.

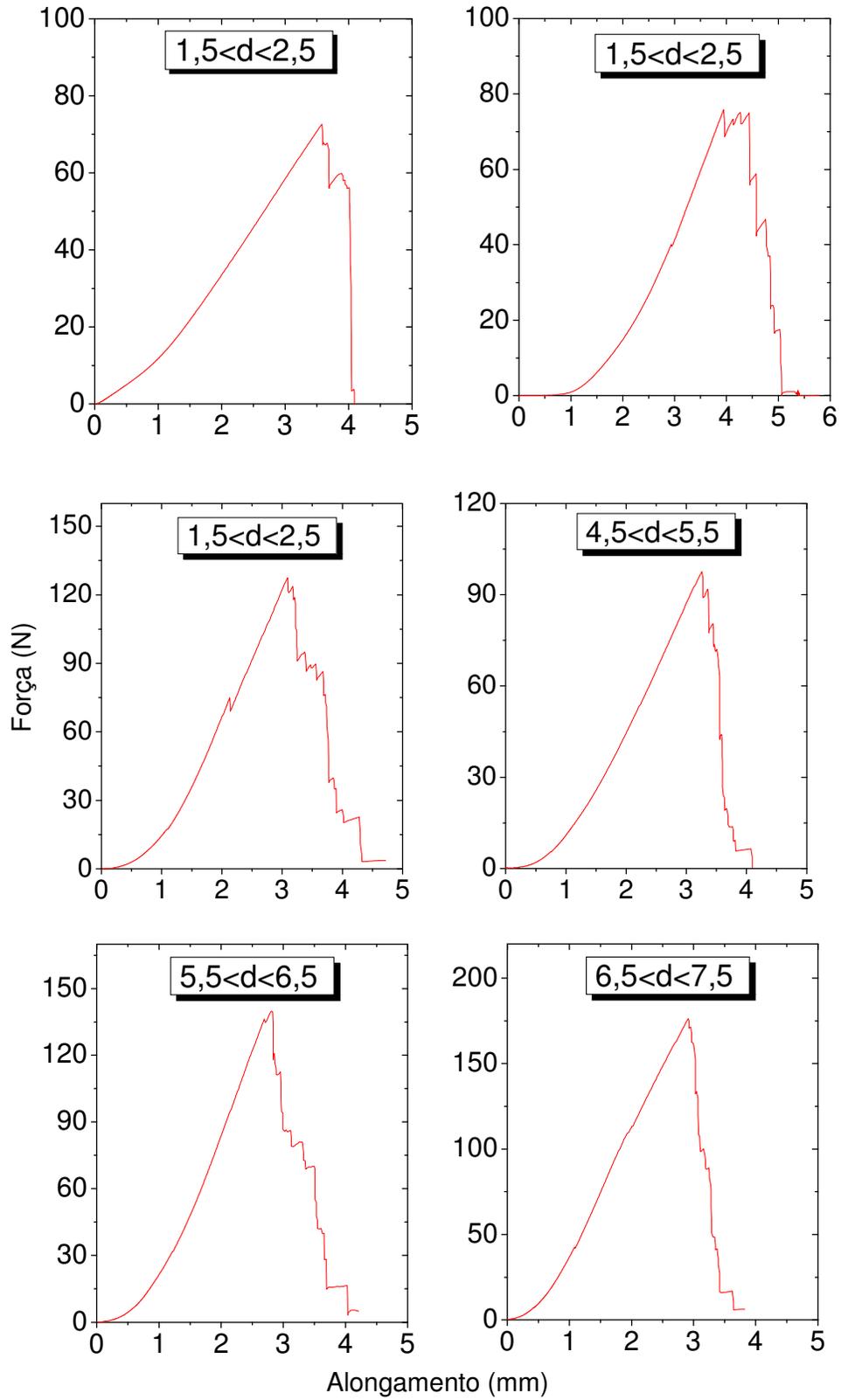
Tendo por base os seis intervalos arbitrários para o diâmetro equivalente na Figura 2, 60 fibras foram retiradas do feixe recebido, de tal maneira que cada conjunto de dez fibras correspondia a um intervalo de diâmetro equivalente. Todas as fibras de buriti para os seis intervalos, foram medidas em um projetor de perfil Nikon modelo 6C para garantir o correto diâmetro equivalente. As 60 fibras, dez para cada um dos seis intervalos de diâmetro equivalente, foram então ensaiadas individualmente em tração na temperatura de 25°C em máquina EMIC modelo DL10000. Nos ensaios de tração utilizaram-se garras especiais para evitar deslizamento sem danificar a fibra. A taxa de deformação empregada no ensaio foi de  $4,2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ . Os valores de resistência a tração das fibras de buriti foram interpretadas pelo método de Weibull, utilizando-se o programa de computador *Weibull Analysis*.

Algumas fibras de buriti, após a ruptura em tração, foram analisadas por microscópio eletrônico de varredura, em um microscópio Jeol modelo JSM 6460 operando a 15kV.

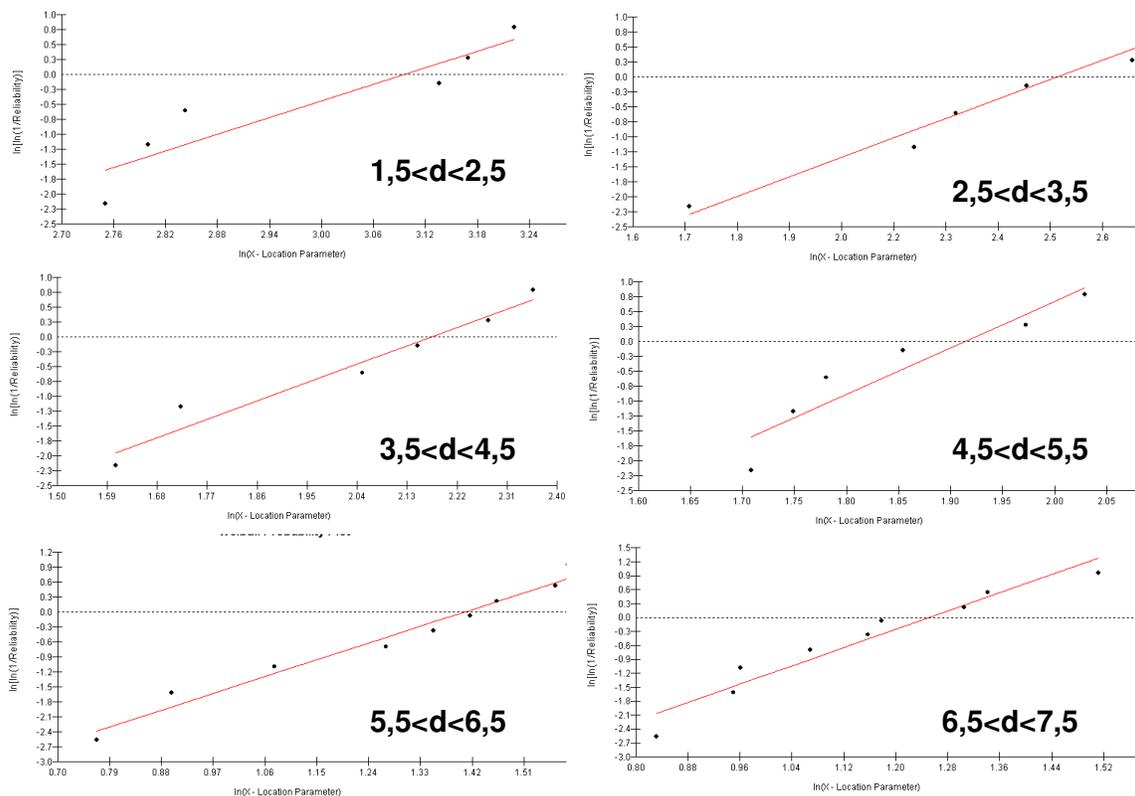
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados digitalizados fornecidos nos ensaios da máquina Instron, foram construídas as curvas de tração para cada fibra. A Figura 3 ilustra exemplos destas curvas para cada intervalo de diâmetro equivalente considerado. Nesta figura observa-se que as curvas de força versus alongamento apresentam as mesmas características gerais. Após um regime elástico contínuo, ocorre um ponto de máxima resistência, praticamente sem apresentar deflexão da reta elástica que pudesse caracterizar uma plasticidade inicial. Entretanto, já no ponto de máximo ou pouco depois, a curva apresenta descontinuidades na forma de serrilhações que acompanham o processo de queda da resistência até a ruptura total. Na realidade, estas descontinuidades estão associadas a rupturas parciais dos diversos filamentos que constituem a fibra de buriti. Neste ponto é importante mencionar que quanto menor é o diâmetro equivalente da fibra, menor será o número de filamentos. Em conseqüência, fibras com menores diâmetros, como as do intervalo  $1,5 < d < 2,5 \text{ mm}$ , apresentam menos oscilações até a ruptura do que as com maiores diâmetros equivalentes, como as do intervalo  $6,5 < d < 7,5 \text{ mm}$  na Figura 3. Este fato será lembrado mais adiante quando for discutida a correlação entre a resistência à tração e o diâmetro equivalente.

Com base em todos os resultados dos ensaios de tração das fibras de buriti, como alguns exemplos mostrados na Figura 3, obteve-se o valor da tensão máxima para cada fibra. Estes valores foram analisados pelo método estatístico de Weibull para os seis conjuntos de 10 fibras correspondentes aos intervalos de diâmetro equivalente considerados na Figura 2. A análise da probabilidade de Weibull gerou os gráficos típicos que estão apresentados na Figura 4 para todos os intervalos de diâmetro equivalente. Além disto, esta análise gerou também valores dos parâmetros de Weibull que estão listados na Tabela 1, juntamente com os correspondentes resultados estatísticos da média e desvio padrão das tensões máximas obtida para cada um dos intervalos de diâmetro equivalente.



**Figura 3.** Curvas de tração típicas para os diferentes intervalos de diâmetro equivalente de fibras de buriti considerados.



**Figura 4.** Gráficos de probabilidade de Weibull para a tensão máxima em tração para os diferentes intervalos de diâmetro equivalente de fibras de buriti considerados.

**Tabela 1.** Parâmetros de Weibull para os intervalos de diâmetro equivalente das fibras de buriti

Intervalo de diâmetro equivalente (mm)	$\beta$	$\Theta$ (MPa)	$R^2$	Tensão Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
1,5-2,5	4,64	22,1	0,852	20,19	4,95
2,5-3,5	2,95	12,1	0,962	10,81	3,99
3,5-4,5	3,43	8,78	0,956	7,892	2,54
4,5-5,5	7,78	6,78	0,884	6,373	0,97
5,5-6,5	3,73	4,08	0,97	3,682	1,1
6,5-7,5	4,93	3,49	0,935	3,203	0,74

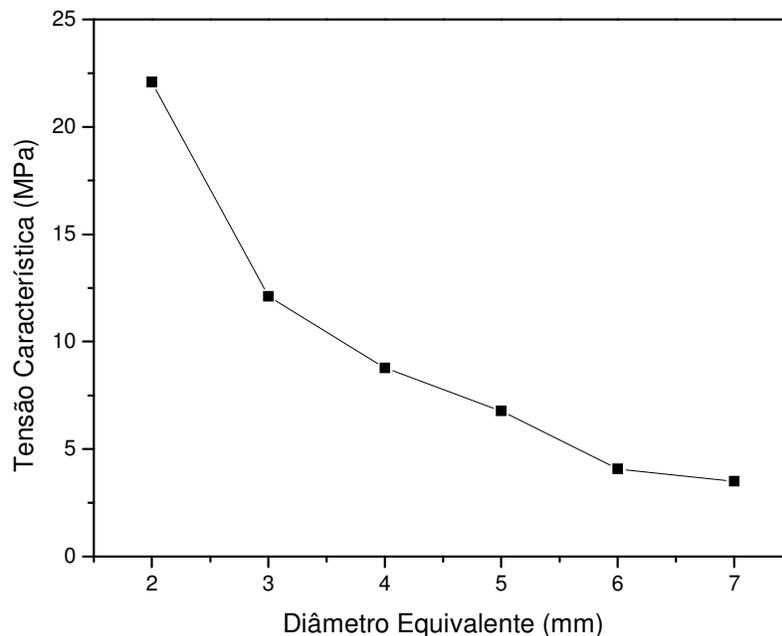
Os dados listados na Tabela 1 foram obtidos diretamente do programa *Weibull Analysis* utilizando o método de Máxima Verossimilhança. Neste método, consideram-se como reais os parâmetros de forma,  $\beta$ , e o de escala,  $\theta$ . Por outro lado, considerou-se no presente trabalho o parâmetro de posição,  $\delta$ , como sendo nulo. Caso contrário, qualquer valor atribuído a  $\delta$  acarretaria em uma probabilidade de Weibull negativa.<sup>(21)</sup> É importante lembrar as características de cada parâmetro empregado:<sup>(22)</sup>

$\theta$  - representa no presente trabalho a tensão máxima característica correspondente a 63,8% de probabilidade das fibras de buriti apresentarem esta tensão;

$\beta$  - conhecido como Módulo de Weibull, está associado à qualidade da distribuição estatística. Em geral, o valor de  $\beta$  situa-se entre 0,5 e 1,5. Mas, quanto maior este valor, mais a média da distribuição se aproximará de  $\theta$ , enquanto a variância se aproxima de zero,<sup>(22)</sup> e

$R^2$  – é o parâmetro que indica a qualidade do ajuste dos pontos à reta central dos gráficos de Weibull, como as retas da Fig. 4. Este parâmetro de ajuste ou precisão, varia de 0 a 1. Estará melhor ajustada a reta com  $R^2$  mais próximo de 1.

Com os valores das tensões máximas características da Tabela 1, construiu-se o gráfico de variação de  $\theta$  com o diâmetro equivalente, conforme mostrado na Figura 5. Nesta figura, o diâmetro equivalente considerado foi o valor médio para cada intervalo, como indicado na Figura 2. O gráfico da Figura 5 mostra uma clara tendência da tensão máxima variar inversamente com o diâmetro da fibra de buriti. Ou seja, para os menores diâmetros, têm-se os maiores valores de tensão máxima e vice-versa.



**Figura 5.** Tensão máxima característica em função do diâmetro médio equivalente das fibras de buriti.

Os valores do parâmetro  $\beta$  na Tabela 1, embora não sejam muito levados, tendem a justificar esta correlação inversa entre a tensão máxima e o diâmetro na Fig. 5. Por sua vez, os valores do parâmetro  $R^2$  na Tabela 1 indicam bom ajuste para as retas da Fig. 4. Tendo em vista os dados da tabela, encontrou-se uma correlação hiperbólica entre a tensão máxima,  $\sigma_m$ , e o diâmetro equivalente,  $d_e$ :

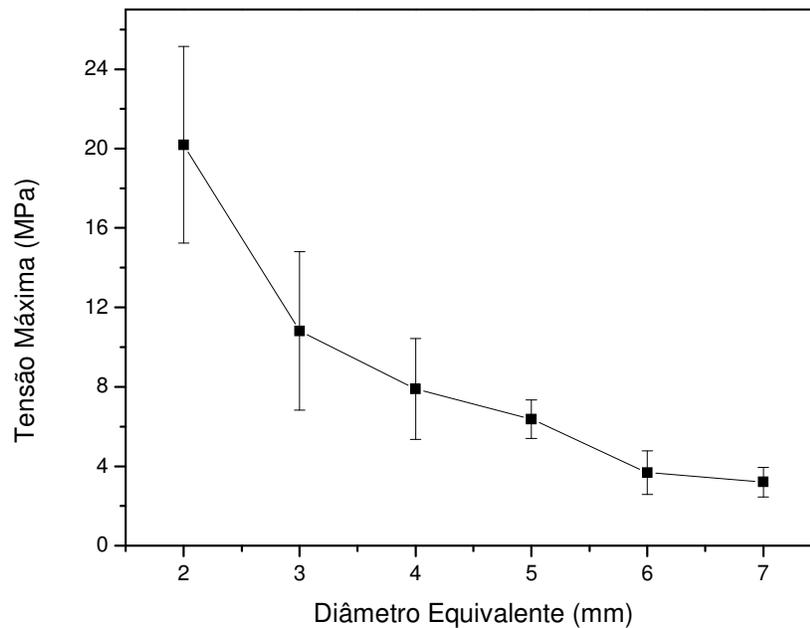
$$\sigma_m = 51,7 / d_e - 3,17 \quad (1)$$

Outra importante relação é aquela que pode existir da média das tensões máximas em função da média dos diâmetros equivalentes para cada intervalo (Figura 2), considerado. Assim, a Fig. 6 apresenta a variação dos valores médios para as tensões máximas, com os respectivos desvios padrão, vs. os

correspondentes valores médios para os intervalos de diâmetro equivalente. Verifica-se nesta figura que também existe, mesmo considerando-se as barras de erro, uma inequívoca correlação inversa entre os valores médios da tensão máxima  $\bar{\sigma}_m$  e os do diâmetro equivalente  $d_e$ :

$$\bar{\sigma}_m = 48,6 / d_e + 4,0 \quad (2)$$

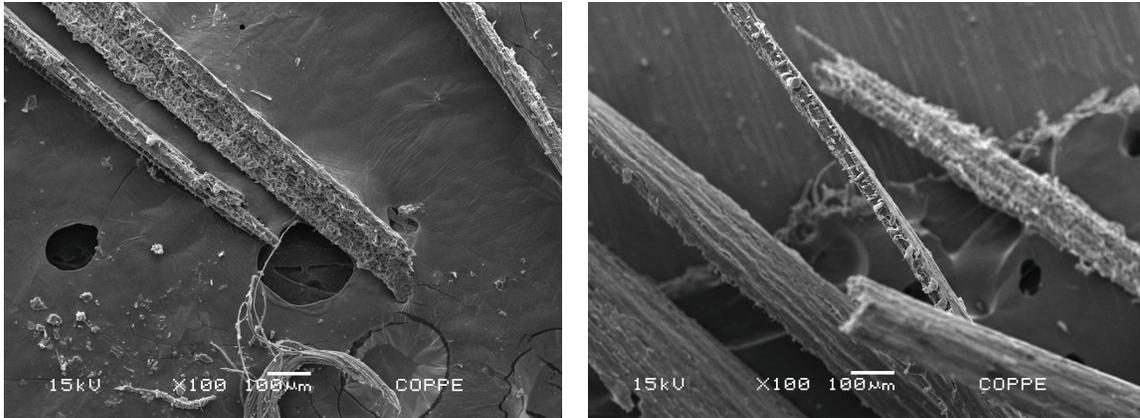
As Eq. (1) e (2) são muito semelhantes em suas constantes. Isto sugere ser a correlação hiperbólica a que fisicamente melhor descreve a variação da resistência à tração das fibras de buriti com seus diâmetros equivalentes.



**Figura 6.** Média da tensão máxima em função do diâmetro médio equivalente das fibras de buriti.

A análise das pontas de ruptura de fibras de buriti com diferentes diâmetros realizada por MEV acrescenta maiores evidências à correlação inversa entre a resistência à tração e o diâmetro da fibra. A Figura 7 apresenta o aspecto das pontas de ruptura de fibras de buriti com diferentes diâmetros. Para o menor diâmetro (Figura 7a), verifica-se uma fratura mais uniforme e envolvendo relativamente poucos filamentos. A fibra com maior diâmetro (Figura 7b), tem fratura menos uniforme e envolve maior número de filamentos.

Estatisticamente, as observações na Figura 7 indicam que haverá maior chance de que um dos muitos filamentos da fibra mais grossa seja prematuramente rompido iniciando o processo de decréscimo na resistência da fibra até a sua fratura. Isto é, com maior número de filamentos (Figura 7b), haverá maior chance de se atingir o valor máximo da tensão comparativamente mais cedo (com menor carga) do que com menor número de filamentos (Figura 7a).



**Figura 7.** Fractografia por MEV das pontas rompidas de fibras de buriti: (a) mais fina,  $d=2$  mm, e (b) mais grossa,  $d=6$  mm.

Finalmente, vale mencionar que a heterogeneidade natural das fibras lignocelulósicas,<sup>(17-19)</sup> como a de buriti no presente trabalho, permite que seja otimizado seu emprego em compósitos através de uma seleção dimensional preliminar. No caso das fibras de buriti, mostrou-se que com menores diâmetros tem-se maior resistência mecânica. A variação hiperbólica, Eq. (1) e (2), incentiva a seleção das fibras de buriti com o menor diâmetro possível para se ter desempenho mecânico de compósitos bem acima da média.

#### 4 CONCLUSÕES

A utilização do método de probabilidades de Weibull para análise estatística das tensões máximas obtidas em tração de fibras de buriti revelou uma correlação inversa com o diâmetro das fibras.

Esta correlação ajusta-se a uma equação hiperbólica tanto para a tensão máxima característica quanto para as médias de tensões máximas. Os parâmetros  $\beta$  e  $R^2$  bem como os desvios padrão dão suporte a esta correlação.

Os resultados obtidos apóiam a idéia de se selecionar os menores diâmetros possíveis das fibras de buriti no sentido de aumentar o desempenho de compósitos poliméricos reforçados com essas fibras.

#### Agradecimentos

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

#### REFERÊNCIAS

- 1 CHAWLA, K. K. Composite Materials, Nova York: Springer-Verlag, 1993.
- 2 MATTEWS, F.L.; RAWLINGS, R.D. Composite Materials: Engineering and Science, Londres: Chapman & Hall, 1994.
- 3 HULL, D.; CLYNE, T. W. An Introduction to Composite Materials, 2a ed., Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1996.
- 4 AGARWAL, B.D.; BROUTMAN, L.J. Analysis and Performance of Fiber Composites, Nova York: John Wiley & Sons, 1990.

- 5 ASHBEE, K.H.G. Fundamentals Principles of Fiber Reinforced Composite, 2a Edição, Lancaster : Thecnomic Pub. Comp. Inc., 1993.
- 6 CALLISTER Jr., W.D. Materials Science and Engineering – An Introduction, 5a Edição, Nova York : John Wiley & Sons, 2000, p. 358.
- 7 GORE, A. An Inconvenient Truth. The Planetary Emergency of Global Warming and What We Can Do About It. Emmaus, Pennsylvania, USA: Rodale Press, 2006.
- 8 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.
- 9 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.
- 10 CROCKER, J. Natural materials innovative natural composites. Materials technology, v. 2-3 n. 3 p. 174-178, 2008.
- 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 SATYANARAYANA, K.G.; GUIMARÃES, J.L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. Composites: Part A, v. 38, p. 1694-1709, 2007.
- 13 D'ALMEIDA, J.R.M.; AQUINO, R.C.M.P.; MONTEIRO S.N. Tensile Mechanical Properties, Morphological Aspects and Chemical Characterization of Piassava (*Attalea funifera*) Fibers. Composites. Part A, v. 37, p. 1473-1479, 2006.
- 14 MONTEIRO, S.N.; AQUINO, R.C.M.P.; LOPES, F.P.D.; CARVALHO, E.A.; D'ALMEIDA, J.R.M. Comportamento mecânico e características estruturais de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas e alinhadas de curauá. Revista Matéria, v. 11, n. 3, p. 197-203, 2006.
- 15 BOYNARD, C.A.; MONTEIRO, S.N.; D'ALMEIDA, J.R.M. Aspects of Alkali Treatment of Sponge Gourd (*Luffa cylindrica*) Fibers on the Flexural Properties of Polyester Matrix Composites. J. Appl. Polym. Sci. v. 87 p.1927-1932, 2003.
- 16 SANTOS, S.; SILVEIRA, E.L.C.; SOUZA, C.M.L. Study of the mechanical properties of thermoset polymeric matrix composites reinforced wit buriti fibers" In: 30TH ANNUAL MEETING OF THE BRAZILIAN CHEMISTRY SOCIETY, 2007, Aguas de Lindoia, Brasil. p. 1.
- 17 NABI SAHEB, D.; JOG, J.P. Natural fiber polymer composites: A review. Advances in Polymer Technology, v. 18, p. 351-363, 1999.
- 18 BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose-based fibres. Prog. Polym. Sci, v. 24, p. 221-274, 1999.
- 19 MOHANTY, A.K.; MISRA, M.; HINRICHSEN, G. Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview. Macromolecular Mater. and Eng., v. 276, p.1-24, 2000.
- 20 DODSON, B. The Weibull Analysis Handbook, 2ª edição, Nova York: ASQ Quality Press, 2006.
- 21 KAPUR, K.C.; LAMBERSON, L.R. Reliability in Engineering Design. Nova York: John Wiley & Sons, 1977
- 22 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 DO CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS – ABM, Jul. 2007, Vitória, ES, Brasil, p. 1-10.