



# ANÁLISE DE WEIBULL DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DE FIBRAS DE BANANEIRA<sup>1</sup>

*Lucas Barbosa de Souza Martins<sup>2</sup>  
 Nathalia Carneiro Garcia Rosa<sup>3</sup>  
 Felipe Perissé Duarte Lopes<sup>4</sup>  
 Lucas Lopes da Costa<sup>5</sup>  
 Sergio Neves Monteiro<sup>6</sup>*

## Resumo

Existem diversas vantagens que justificam a substituição de fibras sintéticas por fibras naturais, sendo elas de caráter econômico, técnico e ambiental. Entretanto, as fibras lignocelulósicas não apresentam a mesma uniformidade dimensional que as fibras sintéticas, possuindo grande dispersão em seus valores. Em particular, trabalhos anteriores já foram realizados com o objetivo de avaliar a variação da resistência mecânica com o diâmetro, mas até agora nenhum trabalho havia sido realizado para correlacionar o diâmetro com o módulo de elasticidade. Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar estatisticamente o diâmetro de um lote de fibras de bananeira, definir intervalos e, através da estatística de *Weibull*, analisar a dependência com o módulo de elasticidade. Os resultados revelaram uma relação inversa ajustada à uma equação hiperbólica. Além disso, observações da superfície de fratura das fibras sugerem possíveis mecanismos responsáveis por esta correlação.

**Palavras-chave:** Fibras de bananeira; estatística de Weibull; Ensaio de tração; Módulo de elasticidade .

## WEIBULL ANALYSIS OF THE ELASTIC MODULUS OF BANANA FIBER

### Abstract

Several economical, technical and environmental advantages are currently justifying the substitution of synthetic fibers by natural fibers. However, natural fibers obtained from plants, also known as lignocellulosic fibers, do not present the same dimensional uniformity, showing large dispersion of values, as compared to the synthetic fibers. In particular, works have been conducted to evaluate the variation of the mechanical strength with the diameter of banana fibers, but so far no work was carried out on the correlation between the diameter and the elastic modulus. Therefore, the objective of this work was to statistically characterize the diameter of a lot of banana fiber, to define intervals and, by means of the Weibull statistic, to analyze the dependence with the elastic modulus. The results revealed an inverse relation, which was adjusted to a hyperbolic equation. Moreover, fracture surface observation suggested possible mechanisms related to this correlation.

**Key words:** Banana fiber; Weibull statistic; Tensile test; Elastic modulus.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.*

<sup>2</sup> *Graduando, CCT/UENF*

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

<sup>4</sup> *Graduando, CCT/UENF*

<sup>5</sup> *Graduando, CCT/UENF*

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

## 1 INTRODUÇÃO

Devido à crescente preocupação com o impacto ambiental proveniente das atividades industriais, busca-se cada vez mais utilizar materiais ambientalmente corretos. Neste quesito, as fibras naturais com alto teor de celulose, conhecidas como fibras lignocelulósicas, consolidaram-se como promissora solução a tal situação, servindo principalmente como substitutos de fibras sintéticas de compósitos poliméricos, usados em grande escala pela indústria, em particular a fibra de vidro.<sup>(1-5)</sup> O emprego destas fibras naturais é também motivado pelas diversas vantagens por elas apresentadas, como boa tenacidade e menos desgaste de equipamentos utilizados no processamento de compósitos. Adicionalmente, tais compósitos são ambientalmente corretos por serem renováveis, biodegradáveis e neutros em relação à emissão de CO<sub>2</sub>, principal responsável pelo efeito estufa e causador de mudanças climáticas e aquecimento global.<sup>(3,5,6)</sup>

Entretanto, as fibras lignocelulósicas também apresentam algumas desvantagens em relação às fibras sintéticas tais como dificuldade de acoplamento com matrizes poliméricas, devido ao caráter hidrofílico da fibra e hidrofóbico da matriz, e heterogeneidades dimensionais,<sup>(4,5)</sup> sendo esta última característica da própria natureza deste material. Estes fatos constituem um empecilho ao uso destas fibras em determinados projetos, principalmente os que visam alta performance, sendo motivo para que ocorra a redução da capacidade de reforço, como indicam a Regra das Misturas para compósitos.<sup>(7)</sup>

Para a caracterização de fibras de bananeira, que é o objetivo do presente trabalho, o ideal é a seleção dimensional aleatória, o que permite ter-se não só fibras longas em relação ao comprimento como também pouca dispersão de tamanho.<sup>(8)</sup> Pode-se assim garantir uma certeza maior da veracidade dos valores obtidos. Atentando para a isto, recentes trabalhos com fibras de curauá<sup>(8)</sup> e buriti<sup>(9)</sup> demonstram que a resistência máxima à tração das fibras lignocelulósicas varia inversamente com o diâmetro das mesmas. Este fato aponta também para uma correlação inversa entre o módulo de elasticidade e o raio destas fibras, visto que a resistência máxima à tração é um indicativo de maior resiliência nas mesmas. Com isto é vantajoso realizar uma escolha preliminar estratégica de fibras para uso específico baseado no seu dimensionamento.

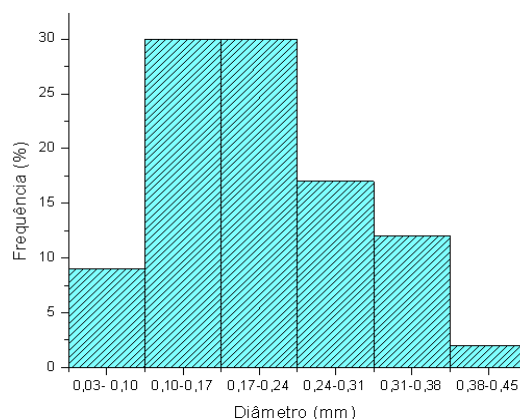
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Adquiriu-se um lote de fibras extraídas do caule de uma planta de bananeira (Família *Musaceae*), em forma de feixes, através de um grupo artesanal com sede na Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF).



**Figura 1.** (A) Pseudocaule de uma bananeira, (B) com diâmetro médio de 15 vs. 30 cm, (C) secos ao sol por cerca de uma semana e (D) grupo de fibras após o desfibrilamento.

Para se obter as devidas fibras necessárias ao trabalho, efetuou-se o desfibrilamento manual dos feixes obtidos, sem se realizar nenhum tratamento adicional. Posteriormente, retirou-se aleatoriamente 100 destas para avaliação quanto às diferentes dimensões apresentadas por este tipo de fibra (Figura 2). No intuito de se obter o diâmetro equivalente das fibras, foram efetuadas medições sucessivas em 5 pontos de cada fibra, através de projetor de perfil PANTEC PJ3150. Cada ponto foi igualmente espaçado em relação ao outro, cobrindo o comprimento da fibra, sendo todos medidos duas vezes, se girando a fibra 90° após a primeira medição e se tomando a média aritmética dos valores. Foram considerados então, como estão demonstrados na Figura 2, os seguintes intervalos em mm de diâmetros equivalentes:  $0,03 < D < 0,1$ ;  $0,1 < D < 0,17$ ;  $0,17 < D < 0,24$ ;  $0,24 < D < 0,31$ ;  $0,31 < D < 0,38$ ;  $0,38 < D < 0,45$ .



**Figura 2.** Distribuição do diâmetro equivalente das fibras de bananeira.

No histograma da Figura 2, os diâmetros foram divididos em seis intervalos e, com base neles, calculou-se um diâmetro médio de 0,20 mm. Tendo por base os seis intervalos para o diâmetro equivalente, 72 novas fibras foram retiradas do feixe recebido, de modo que cada conjunto de 12 fibras correspondia a um intervalo de diâmetro equivalente. Estas fibras foram selecionadas para cada intervalo através do mesmo projetor de perfil antes usado.

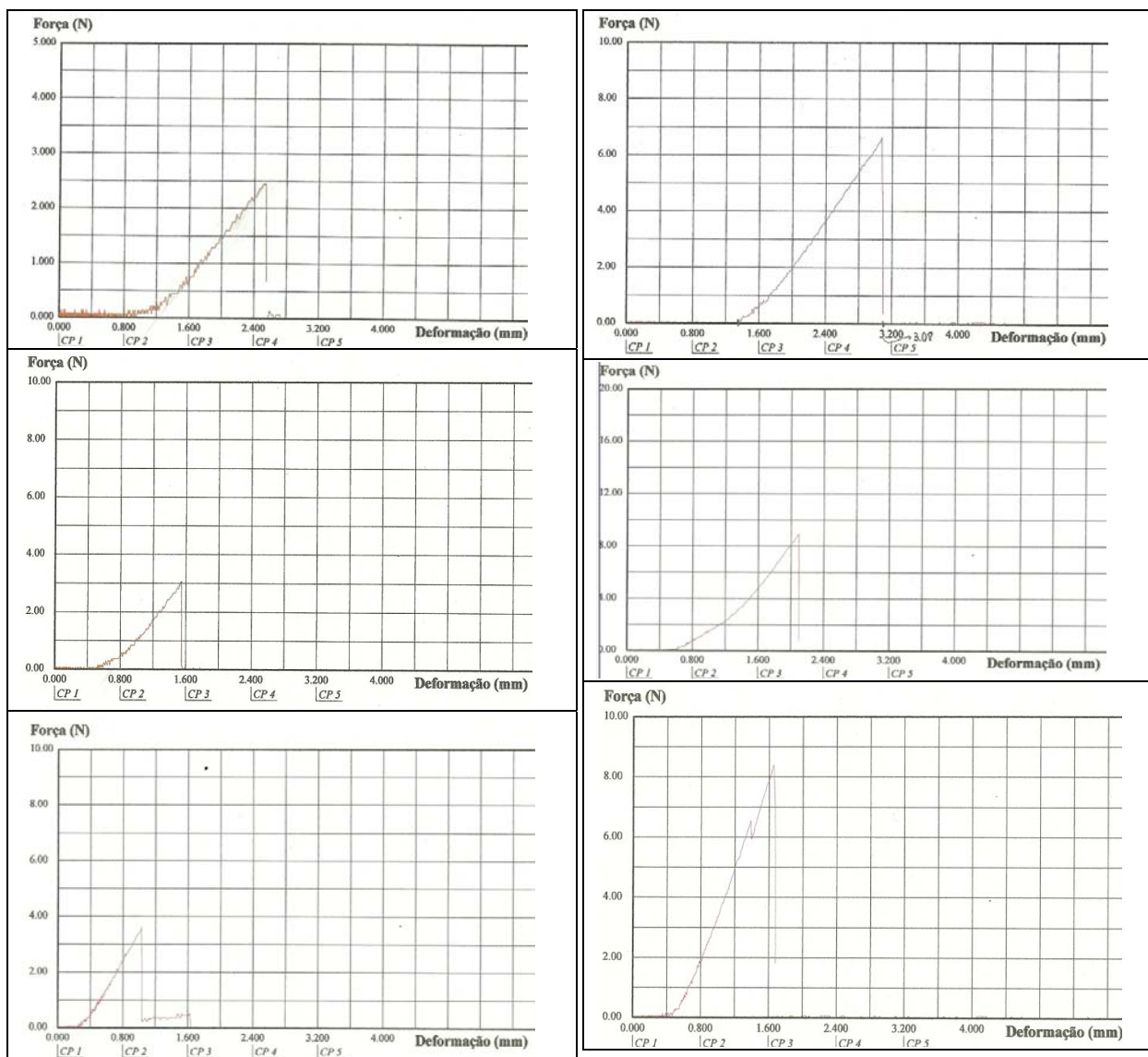
As 72 fibras foram ensaiadas em tração a temperatura ambiente em máquina EMIC DL 10000 dotada de garras especiais para evitar o deslizamento das fibras de bananeira e com taxa de deformação de  $1,7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ . Os valores de resistência a tração e alongamento de cada fibra foram utilizados para se calcular o módulo de elasticidade das mesmas. Este parâmetro foi interpretado pela estatística de Weibull, utilizando-se o programa *Weibull Analysis*. As fibras da faixa um e faixa seis, após a ruptura em tração, foram analisadas em microscópio eletrônico de varredura Jeol modelo JSM 6460 operando a 15KV.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

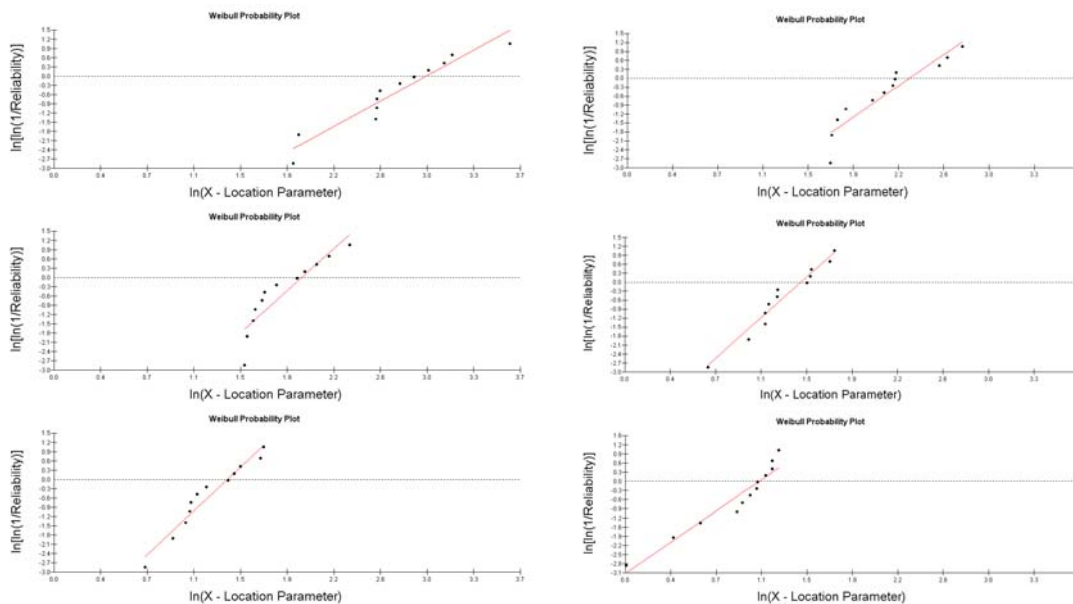
Através da análise dos dados obtidos através de ensaios de tração em máquina EMIC, foram construídas curvas de força VS. deformação para cada ensaio referente à fibra testada. Na Figura 3 estão seis destas curvas que representam o comportamento das demais fibras em suas faixas de diâmetros. As curvas apresentam praticamente apenas regime elástico, demonstrando seu caráter frágil. Após este regime elástico, ocorre um ponto de máxima resistência e súbita ruptura, sendo este trecho de fácil cálculo do módulo de elasticidade.

Contudo, para as últimas faixas de diâmetro equivalente há a presença de serrilhações após o ponto de tração máxima. Estas irregularidades ocorrem devido à ruptura dos diversos filamentos que constituem a fibra de bananeira. Em consequência deste fato, as fibras que possuem diâmetros menores ( $0,03 < D < 0,1$ ) apresentam menos oscilações até sua ruptura em comparação com as fibras com maiores diâmetros equivalentes ( $0,38 < D < 0,45$ ).

Baseado nos resultados fornecidos pelos ensaios de tração (Figura 3), obteve-se o módulo de elasticidade para cada fibra ensaiada, onde, posteriormente, estes valores foram analisados através da Estatística de Weibull, para todas faixas de diâmetro. Mediante este método, gerou-se os gráficos que estão apresentados na Figura 4, para cada um dos intervalos de diâmetros equivalentes (seis faixas), bem como os parâmetros de Weibull relacionados na Tabela 1, e os correspondentes resultados estatísticos da média e desvio padrão dos módulos de elasticidade obtidos.



**Figura 3.** Curvas de tração típica para os diferentes intervalos de diâmetro equivalente de fibras de bananeira considerados.



**Figura 4.** Gráficos de Probabilidade Weibull para o Módulo de Elasticidade para os diversos intervalos de diâmetro equivalente para as fibras de bananeira.

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

Intervalo de diâmetro equivalente (mm)	$\beta$	$\theta$ (MPa)	$R^2$	Módulo De Elasticidade Médio (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
0,030-0,100	2,235	19,13	0,9206	16,94	8,016
0,100-0,170	2,833	10,06	0,8713	8,962	3,429
0,170-0,240	3,681	7,141	0,8224	6,443	1,948
0,240-0,310	3,667	4,184	0,961	3,774	1,145
0,310-0,380	3,831	3,949	0,9439	3,571	1,042
0,380-0,450	2,875	2,969	0,9223	2,646	0,9993

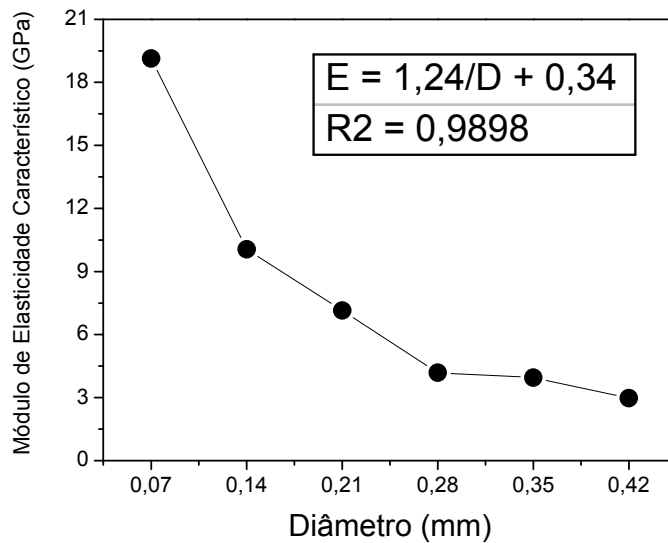
Os dados apresentados na Tabela 1 foram obtidos através do programa *Weibull Analysis* utilizando o método de Máxima Verossimilhança, considerando-se os parâmetros de forma  $\beta$  e o de escala  $\theta$ , e adotando-se o parâmetro de posição  $\delta$  como nulo, para evitar uma probabilidade de Weibull negativa associada ao mesmo. Os parâmetros da tabela 1 podem ser caracterizados como:

**$\beta$** - Este é associado à qualidade da distribuição estatística. Em geral, este valor situa-se entre 0,5 e 15, onde, quanto maior ele se apresenta, mais a média da distribuição se aproxima de  $\theta$ , enquanto a variância se aproxima de zero;

**$\theta$** - Representa a Tensão Máxima. Este parâmetro indica que 63,8% das fibras suportarão a tensão  $\theta$  antes de romperem.

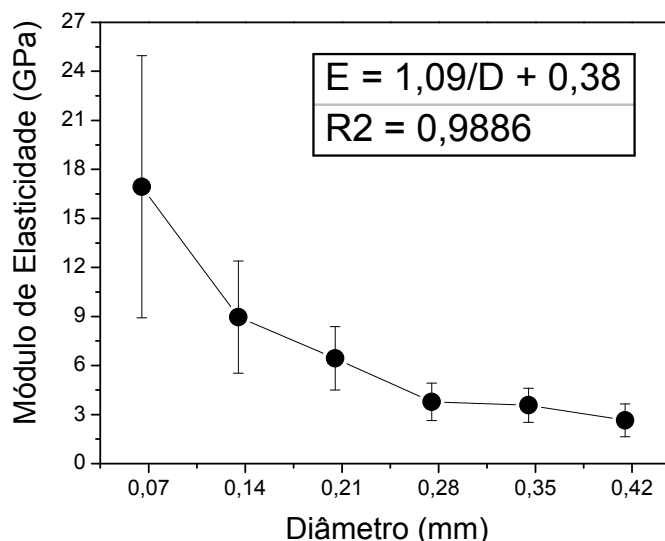
**$R^2$**  - Este parâmetro indica a qualidade do ajuste dos pontos em relação à reta central. Pode variar de 0 a 1, em que quanto mais próximo de 1 melhor é o ajuste.

Com os valores de Módulos de Elasticidade Máximos apresentados na Tabela 1, construiu-se o gráfico que relaciona este mesmo (parâmetro  $\theta$ ) com o diâmetro médio do intervalo correspondente. Esta curva está mostrada na Figura 5, que demonstra claramente a relação inversa entre tensão máxima e diâmetro equivalente. Nesta figura está representada a equação hiperbólica mais simples e que melhor se ajusta aos pontos experimentais.



**Figura 5.** Módulo de Elasticidade Característico em função das faixas de diâmetro equivalente das fibras de bananeira.

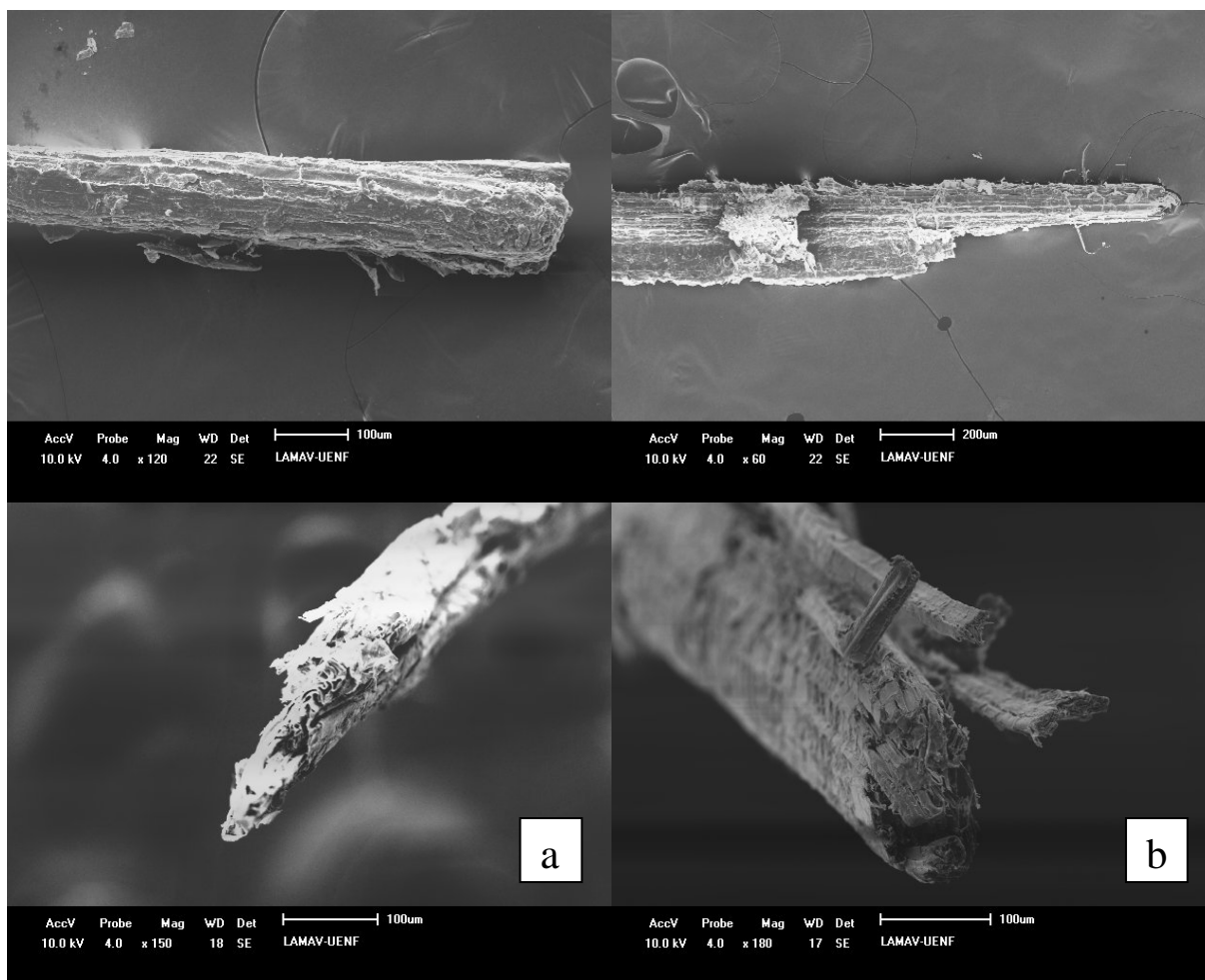
Os valores de  $\beta$  obtidos neste trabalho se apresentaram relativamente baixos, o que denuncia um afastamento do parâmetro  $\theta$  em relação à média para o Módulo de Elasticidade, e, além disso, maior variância em seu valor real. Sendo assim, no intuito de se efetuar uma melhor avaliação da possibilidade de existir uma correlação mais favorável, comparou-se módulo de elasticidade característico com módulo de elasticidade médio e o desvio padrão para cada faixa de diâmetro. A Fig. 6 mostra a correlação entre módulo de elasticidade e desvio padrão. Nesta figura está indicada a mais simples relação hiperbólica obtida com base na regressão linear dos pontos experimentais.



**Figura 6.** Módulo de elasticidade para cada faixa de diâmetro junto ao desvio padrão.

Através da comparação entre os dois últimos gráficos, verifica-se grande similaridade, o que prova a eficiência do método de Weibull para tratar os dados e fornecer valores de módulo de Elasticidade, porém, com grande variância.

Após o ensaio de tração das fibras de bananeira com diferentes diâmetros, foi realizada a análise das pontas de ruptura por microscopia eletrônica de Varredura, Figura 7. Isto acrescentou maiores evidências sobre a correlação inversa entre a resistência à tração e o diâmetro da fibra, o que culminou para uma relação também inversa entre o diâmetro e o módulo de elasticidade. Para a fibra de menor diâmetro, Figura 7(a), verifica-se fratura mais uniforme e com poucos filamentos. Já a fibra com maior diâmetro, tem fratura menos uniforme e maior número de filamentos. Observando a Figura 7(b), pode-se afirmar que haverá maior chance de alguma das muitas fibrilas que as formam romperem antecipadamente e provocar decréscimo na resistência da fibra até sua ruptura.



**Figura 7.** Fractografia por MEV das pontas rompidas em tração das fibras de bananeira: (a) mais fina,  $D=0,053\text{mm}$ , e (b) mais grossa,  $D=0,450\text{mm}$ .

Finalmente, com o objetivo de futuro emprego em compósitos, pode-se aperfeiçoar o processo através de uma seleção dimensional preliminar das fibras, visando determinar certas características para um projeto específico. Obviamente, as fibras de menores diâmetros deveriam ser escolhidas já que apresentam melhores características.

## 4 CONCLUSÕES

A estatística de Weibull pôde fornecer uma boa correlação inversa entre Módulo de Elasticidade e diâmetro das fibras, ou seja, fibras com menores faixas de diâmetros apresentaram maior capacidade de absorver energia antes da fratura, se revelando serem melhores reforços para materiais sujeitos a impacto.

Porém, o baixo valor numérico do parâmetro  $\beta$  e  $R^2$ , junto a alta variância indicadas nas medidas de resistência, poderiam gerar dúvidas quanto à correlação estabelecida no trabalho.

Contudo, conforme visto, a maior uniformidade da fratura das fibras referentes às faixas mais finas de diâmetro, visualizadas tanto nos resultados (presença ou ausência de serrilhações) como na fractografia, reafirma que o módulo de elasticidade é inversamente proporcional ao diâmetro equivalente.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Faperj, CNPQ, Capes e Fenorte/Tecnorte. É também motivo de agradecimento ao laboratório PEMM/COPPE/UFRJ pelo uso do equipamento EMIC.

## REFERÊNCIAS

- 1 BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose-based fibres. Program Polymer Science, v. 24, p. 221-274, 1999.
- 2 NABI SAHED, D.; JOG J.P. Natural fiber polymer composites: a review, Advances in Polymer Technology, v.18, p. 221-274, 1999.
- 3 MOHANTY, A.K.; MISRA, M.; HINRICHSEN, G. Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview. Macromolecular Materials and Engineering, v. 276, p.1-24, 2000.
- 4 CROCKER, J. Natural materials innovative natural composites. Materials technology, v.2-3, n. 3, p. 174-178, 2008.
- 5 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.
- 6 GORE, A. An Inconvenient Truth. The Planetary Emergency of Global Warming and What We Can Do About It. Emmaus, Pennsylvania, USA: Rodale Press, 2006.
- 7 CALLISTER Jr., W.D. Materials Science and Engineering – An Introduction, 5a Edição, Nova York : John Wiley & Sons, 2000.
- 8 TOMCSAK, F.; SATYANARAYNA, K.A.; SIDENSTRICKER, T.H.D. Studies on lignocellulosic fibers on Brasil: Part III – Morphology and properties of Brazilian curaua fibers. Composites: part A, v 38, p. 2227-2236, 2007.
- 9 MONTEIRO, S.N.; LOPES, F.P.D.; MOTTA, L.C.; MARQUES, L.S.; PORTELLA, T.G.R. Statistical analysis to characterize the uniformity of mechanical properties of buriti fibers. In: CHARACTERIZATION OF MINERALS, METALS & MATERIALS – TMS CONFERENCE, Fev. 2009, SAN FRANCISCO, EUA, p.1-6.