

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MÉDIA A FRATURA DE FIBRAS DE DIFERENTES REGIÕES DO BAMBU PELA ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA DE WEIBULL

Roberto Abreu Alencar, robertoabreu.alencar@gmail.com¹
Santino Loruán Silvestre de Melo, santinoluruan@fisica.ufc.br¹
Renardir Peixoto Maciel Júnior, renardirjunior@hotmail.com¹
Enio Pontes de Deus, lameff.brasil@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Ceará, Laboratório da Mecânica da Fratura e Fadiga, bloco 720, campus do pici

²Universidade Federal do Ceará, Laboratório da Mecânica da Fratura e Fadiga, bloco 720, campus do pici

Resumo: Hoje em dia uso de materiais naturais renováveis, em substituição aos materiais de engenharia convencionais tem se tornado tendência. Entre tantas opções a fibra de bambu, tanto como o bambu, é bastante conhecida por suas boas propriedades mecânicas aliadas a seu baixo custo de produção e manufatura de suas fibras bem como a sua aplicabilidade em problemas de engenharia. Porém surge um problema, pois fibras naturais tem uma grande variabilidade em suas propriedades mecânicas, assim podendo criar uma não conformidade nos seus usos de engenharia. Porém se pode modelar estas propriedades por ferramentas estatísticas. Neste trabalho foi utilizada a ferramenta estatística da análise de Weibull, pois a mesma consegue modelar satisfatoriamente o comportamento estatístico de algumas propriedades mecânicas de materiais de comportamento frágil, como a fibra de bambu. O método será aplicado nos resultados de ensaio de tração obtidos de fibras retiradas de diferentes regiões do bambu, para assim também averiguar-se a variabilidade das fibras de acordo a região do colmo do bambu. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM D3822. Como já observado em literatura a distribuição de Weibull conseguiu prever bem uma média para a propriedade mecânica de resistência a fratura das fibras.

Palavras-chave: Fibra de bambu, Resistência a fratura, Análise estatística, Distribuição de Weibull

1. INTRODUÇÃO

Materiais compósitos reforçados por fibras consistem de fibras de alta resistência a fratura e alto módulo de Young envolvida ou colada a uma matriz, com interfaces distintas entre as mesmas. Desta forma fibra e matriz retêm suas identidades físicas e químicas [1], produzindo um material com propriedades que não poderiam ser atingidas pelos materiais agindo sozinhos.

Vários fatores interferem nas propriedades finais de um compósito, como as propriedades de fibra e matriz, adesão entre fibra e matriz, orientação da fibra, comprimento da fibra, entre outros. Normalmente fibras utilizadas como reforço tem propriedades com alta dispersão, o que torna indispensável um tratamento estatístico para se encontrar valores médios e variâncias para as suas propriedades.

O uso do bambu como material estrutural é talvez tão antigo quanto a civilização humana, entretanto o uso de suas fibras como reforço de matrizes data de 1910, utilizando matrizes cimentícias. A vantagem do uso da fibra de bambu como reforço é devido ao seu baixo custo, boa resistência à tração, rapidez do crescimento do bambu e seu baixo custo e consumo de energia na produção das fibras [2].

Fibras tanto naturais como sintéticas tem normalmente comportamento frágil em relação a fratura. Segundo (Mallik, 2007) as dispersões dos valores de resistência a fratura frágil das fibras podem ser modeladas utilizando-se a distribuição estatística de Weibull [1]. A validade da mesma para esta modelagem é confirmada, pois a mesma descreve vários eventos de falhas em sistemas físicos onde se vale a ideia “em que a falha irá ocorrer no elo mais fraco da corrente”.

As fibras foram submetidas a ensaios de tração de acordo com a norma ASTM D3822 na máquina de testes de tração universal EMIC localizada no Laboratório de Ensaios Mecânicos da Universidade Federal do Ceará. Foram utilizadas fibras de bambu retiradas de duas regiões diferentes de um mesmo entrenó de bambu. As fibras foram retiradas de região próxima à casca e da região mais interna do bambu, que se diferenciam pela quantidade de matéria lignocelulósica que

existe entre as fibras de hemicelulósicas, que nas regiões mais internas do bambu é mais rica em lignina e na região mais externa mais rica em hemicelulose.

1.1. Fibras Naturais

Atualmente existe interesse da indústria automobilística para com compósitos reforçados por fibras naturais pois as fibras devem-se alguns fatores como o fato que as fibras naturais são biodegradáveis e o consumo de energia para sua obtenção é muito baixo quando levado em consideração a algumas fibras sintéticas como as fibras de vidro e de carbono, o preço das fibras naturais é muito menor quando comparado a outras fibras sintéticas, pois algumas fibras naturais podem ser retiradas de materiais que iriam, originalmente ser descartados como, por exemplo, a fibra de coco.

As fibras naturais ainda exibem uma grande vantagem em relação as fibras sintéticas pois as mesmas têm a sua obtenção relacionada a atividade agrícola, podendo ser assim uma fonte renovável, e que serve como absorvedora de CO₂ visto que muitas das plantas das quais as suas fibras são extraídas não necessitam de uma grande área de plantio.

As fibras naturais, assim como as sintéticas, têm uma espessura muito fina, quando analisadas de forma unitária, que dificulta tanto sua extração quanto manipulação, portanto o que é chamado aqui de fibra na verdade é um pequeno feixe de fibras onde, com o uso do mesmo se torna possível a utilização das fibras naturais, ou sintéticas, em compósitos.

1.2. Distribuição de Weibull

A análise estatística de resultados é aplicada em diversos sistemas em que se destacam uma ou mais de uma variável aleatória. Em 1951 Ernest Weibull propôs a distribuição estatística que leva o seu nome. Esta distribuição pode ser aplicada a maioria dos campos das ciências. Resultados de resistência a fratura em materiais de comportamento frágil podem ser considerados como variáveis aleatórias em que as mesmas não apresentam um resultado nulo, daí vem o interesse da aplicação da distribuição de Weibull para modelamento dos resultados obtidos com os ensaios de tração das fibras.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais utilizados

As fibras foram retiradas para utilização neste trabalho foram retiradas touceiras de bambu da espécie *Bambusa vulgaris*, as touceiras ficam localizadas na Universidade Federal do Ceará (UFC), que são controladas em relação a seu tamanho e idade. O bambu retirado tinha cerca de 3 anos de idade, 4 metros de comprimento e cerca de 15 centímetros de diâmetro.

A partir do bambu foram retiradas fibras de duas regiões distintas do bambu. A primeira região a qual foi retirada a fibra foi a região próxima a casca, a outra região na qual foi retirada a fibra é a região mais distante à casca.

A diferença entre estas regiões se dá devido a diferença de concentração de fibras entre as regiões interna e externa que pode se evidenciado pelo gradiente de concentração que pode ser visto na Fig.1 abaixo.

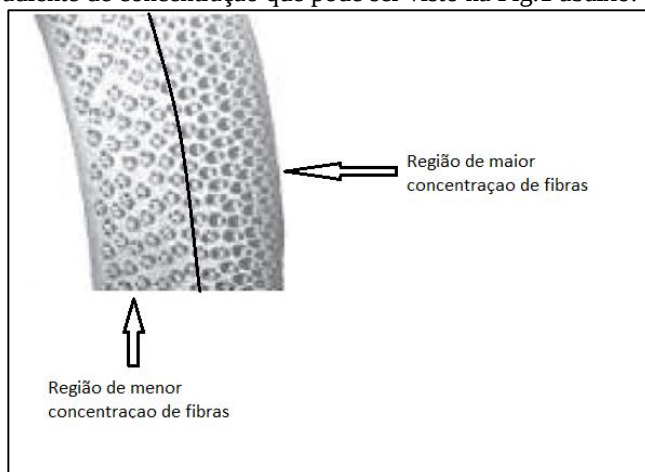


Figura 1 Corte transversal de um colmo de bambu evidenciando o gradiente de concentração de fibras

Como visto na região de menor concentração de fibras temos uma maior que quantidade de massa de lignina (representada pela área branca da Fig.1) do que massa celulósica enquanto na região de maior concentração de fibras temos uma menor quantidade de lignina e maior quantidade de fibras.

2.2. Corpos de Prova

Os corpos de prova foram confeccionados baseados na norma ASTM D3822 que diz as diretrizes para ensaios de tração de fibras têxteis naturais ou não. A figura 2 mostra um espécimen de corpo de prova feito baseado na norma ASTM D3822

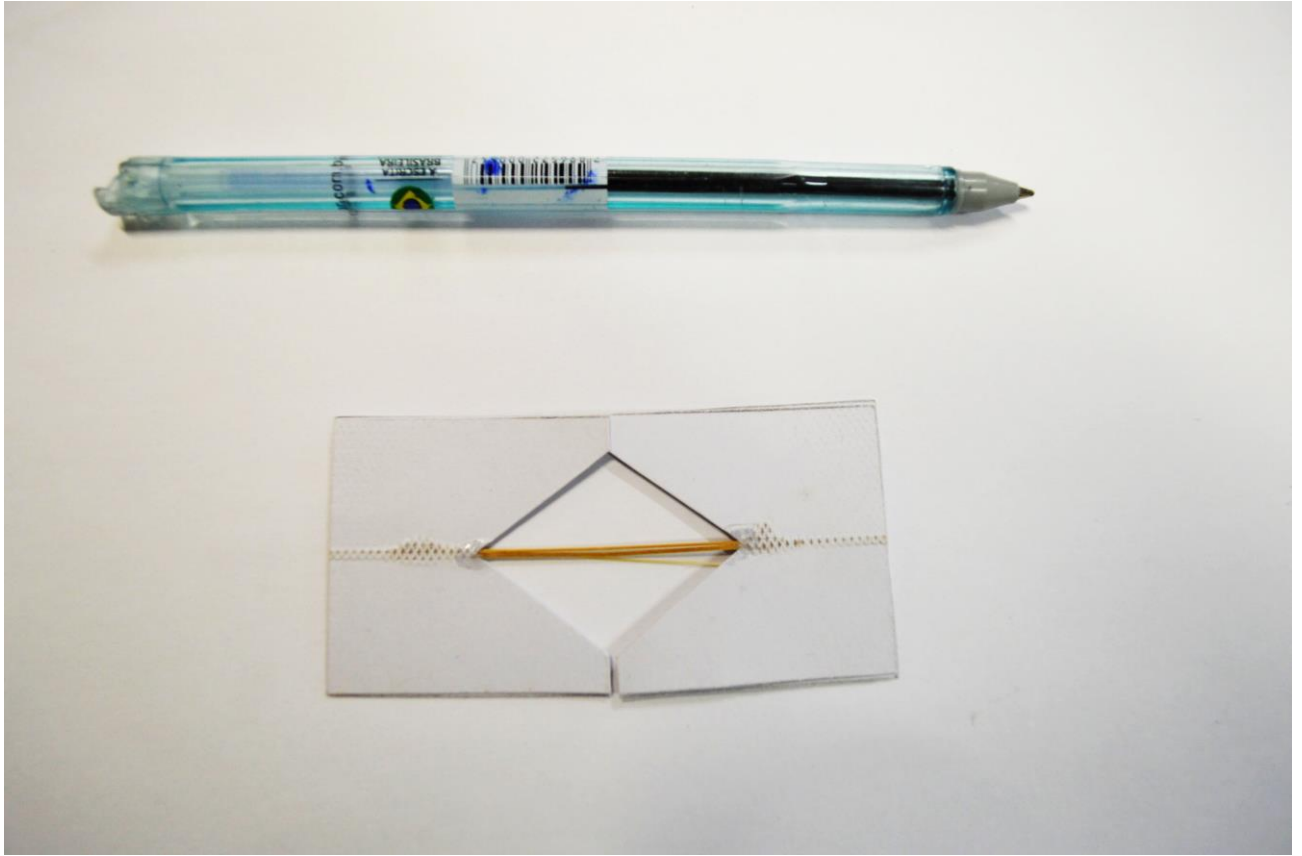


Figura 2 Corpo de prova de ensaio de tração baseado na norma D3822

Foram elaborados 12 corpos de prova ao total em que 6 destes corpos de prova são da região de maior densidade de fibras e os outros 6 da região de menor densidade de fibras.

2.3. Distribuição Estatística de Weibull

A análise estatística de Weibull é uma distribuição estatística em que tem como base o princípio do elo mais fraco. E os dados obtidos com os ensaios podem ser considerados como uma variável aleatória não negativa, portanto a distribuição de Weibull é eficiente na modelagem de resistência a fratura para materiais com comportamento frágil.

O modelamento da distribuição de Weibull será descrito da seguinte forma: Sendo a função de distribuição acumulada de Weibull

$$F(X; m, \sigma_0) = 1 - e^{\left(-\frac{\sigma_m}{\sigma_0}\right)} \quad (1)$$

Onde $F(X; m, \sigma_0)$ é a probabilidade de o evento ocorrer, neste caso o material fraturar, sendo σ uma variável aleatória, que para nosso caso é a tensão máxima na ruptura, então temos como σ_0 como a constante de normalização e m o parâmetro de Weibull que determina forma da função de distribuição.

Linearizando a Eq. 1, isto é, aplicando a função logarítmica natural, obtemos:

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F_j}\right)\right) = m \cdot \ln(\sigma_j) - m \cdot \ln(\sigma_0) \quad (2)$$

Sendo $j = 1 \rightarrow N$, até a j -ésima tensão ordenadas em ordem crescente, neste caso 6 tensões de ruptura, sendo $F_j = (j - 0,5)/N$ [3]. Após a expressão linearizada temos que a mesma obedece, aproximadamente, a seguinte forma $Y=AX+B$ onde Y é a parte esquerda da Eq.2 e X sendo $\ln(\sigma)$, a partir daí podemos plotar um gráfico $Y \times X$, do qual podemos extrair os valores de m e σ_0 . Após obtido os valores das constantes da equação de Weibull podemos utilizar estes parâmetros nas equações da média e variância para a distribuição de Weibull. As equações estão apresentadas abaixo:

$$\sigma_6 = \sigma_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (3)$$

$$Var_6 = \sigma_0^2 \left(\Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right)^2 \right) \quad (4)$$

Onde σ_6 representa o valor médio da variável aleatória e Var_6 representa a variância da mesma.

2.4. Teste de Tração

Os testes de tração foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos da Universidade Federal do Ceará na máquina de ensaio de tração universal EMIC com uma célula de carga Trd 28. Os ensaios foram feitos de acordo com a norma D3822 onde todos os ensaios foram realizados com velocidade de ensaio de 2 mm/minuto e a tensão aplicada foi normal a direção de maior resistência da fibra (direção axial). A Figura 3 mostra um espécimen de corpo de prova já fraturado devido ao ensaio de tração

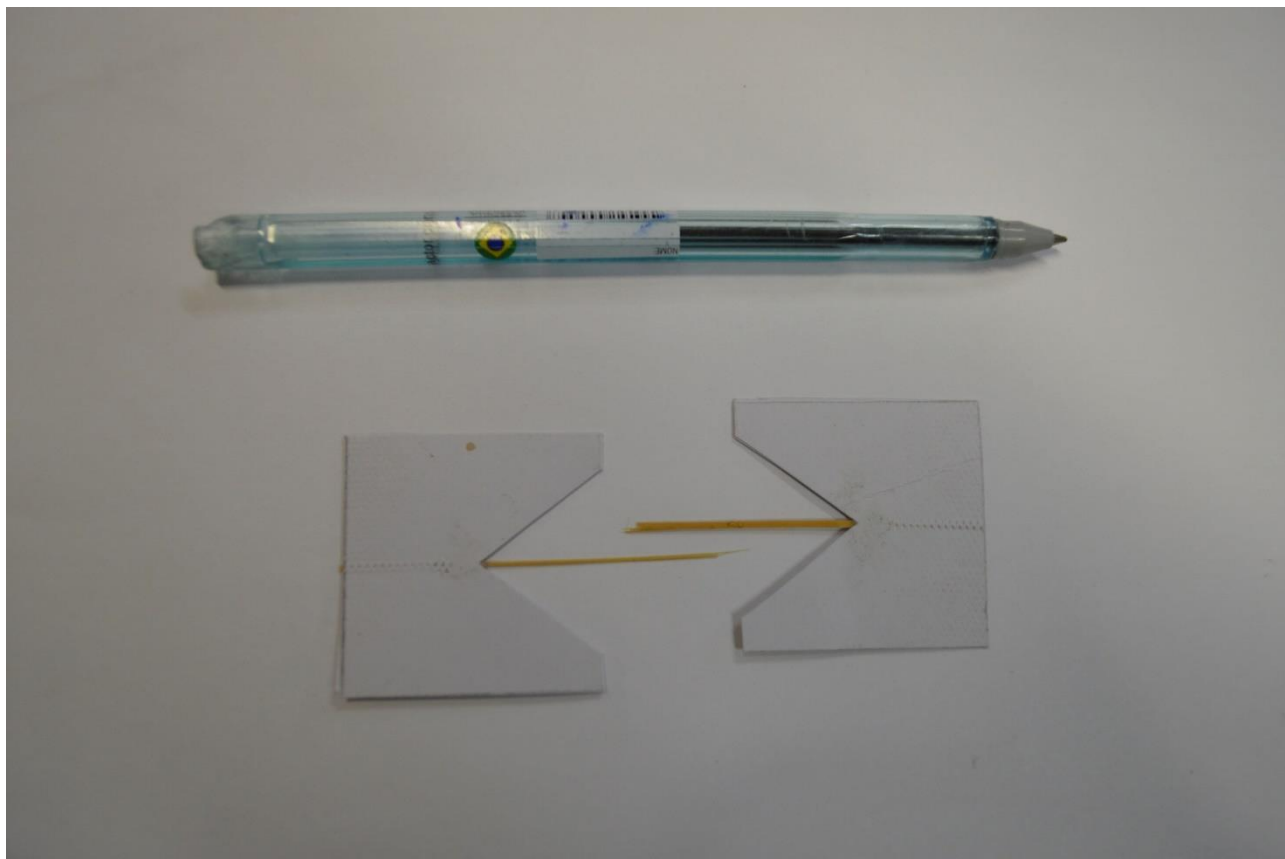


Figura 3 Corpo de prova submetido a ensaio de tração

A partir do ensaio de tração foram obtidos os dados de tensão máxima na ruptura e modulo de elasticidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSAO

3.1. Resultados dos Ensaios de Tração

Os resultados dos ensaios de tração podem ser vistos na tabela abaixo no qual podemos ver a diferença entre os resultados da resistência a fratura da fibra da região mais externa para com a fibra da região mais interna.

Tabela 1. Resultados experimentais dos ensaios de tração em fibras de bambu

	FIBRAS DA REGIAO DE MENOR CONCENTRAÇÃO DE FIBRAS		FIBRAS DA REGIAO DE MAIOR CONCENTRAÇÃO DE FIBRAS	
	TENSÃO MAXIMA NA FRATURA (MPa)	MODULO DE ELASTICIDADE (GPa)	TENSÃO MAXIMA NA FRATURA (MPa)	MODULO DE ELASTICIDADE (GPa)
1	361,18	10,95	396	17,78
2	391,09	12,58	351	14,74
3	500,33	13,25	432	18,81

4	459,15	10,18	341	16,39
5	440,12	11,38	440	20,69
6	560,84	11,35	486	20,66
MEDIA	452,1183333	11,615	407,6666667	18,17833333
DESVIO	72,57052829	1,116364636	55,79486237	2,368336266

Como podemos ver pela Tab. 1 existe uma grande variabilidade nos dados de tensão máxima na ruptura tanto para as fibras da região de maior concentração de fibras do que para a região de menor concentração de fibras, no entanto podemos perceber que nos dados de modulo de elasticidade, que também foram obtidos do ensaio de tração, temos uma variabilidade muito menor nos dados assim revelando que mesmo com a grande variabilidade das fibras as mesmas tem como propriedade intrínseca a mesma o modulo de elasticidade.

Também se pode perceber, pelos dados da Tab.1 que as fibras da região mais exterior do bambu têm uma rigidez maior que as fibras da região mais interior apesar das fibras da região mais interior, em média, terem uma resistência a tração maior que as fibras da região mais externa.

3.2. Resultados do método de Weibull

Com os resultados de ensaio de tração foi modelado, a partir da análise estatística de Weibull o valor médio da tensão de ruptura das fibras de bambu das distintas regiões das quais as fibras foram retiradas. O para encontrar tais valores primeiro ordenamos as tensões em ordem crescente de valor e é feita a determinação das probabilidades de fratura acumulada pelo fator $F_j = (j - 0,5)/N$ sendo N o número de amostras e j variando de 1 até N. Após ter aplicado este fator podemos determinar os fatores m e σ_0 que, por conseguinte podemos determinar os valores das medias dos resultados.

Tabela 2. Resultados da análise de Weibull aplicados aos resultados dos ensaios de tração para as fibras de bambu

REGIAO DA FIBRA	Parâmetro m	σ_0	Resistencia média (MPa)
MAIS EXTERNA	44,68	6,17	397,09
MAIS INTERNA	1,79	4,03	487,15

Podemos observar a partir da Tab.2 que quando os valores do parâmetro m aumentam para esta fibra temos que o valor da resistência media também aumenta e visto que o valor de σ_0 segue uma relação direta para com o valor do parâmetro m visto que para um maior valor de σ_0 temos um maior valor da resistência media a fratura das fibras. Podemos observar na imagem abaixo as curvas plotadas das quais foram extraídos os resultados da análise estatística de Weibull das fibras

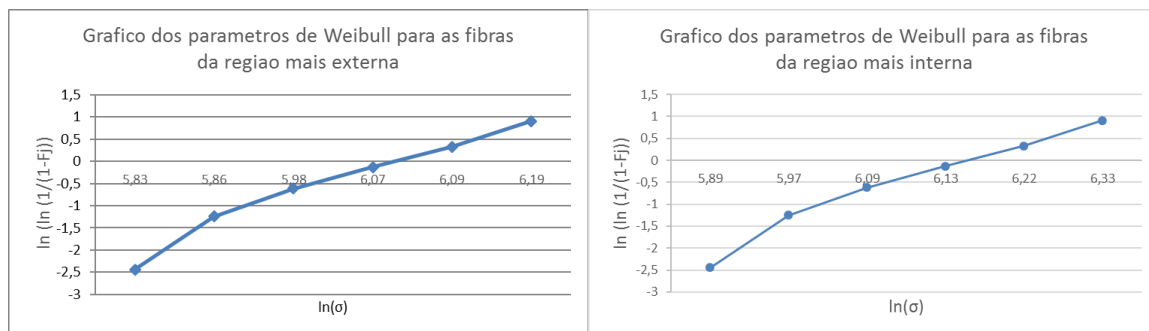


Figura 4 gráfico das curvas geradas a partir da análise de Weibull

E como podemos ver nos resultados da tensão de ruptura media, temos que os mesmos foram condizentes com os valores das medias aritméticas encontradas assim confirmando que o método de Weibull consegue eficientemente modelar o a distribuição estatística da propriedade de resistência a fratura.

Estes resultados somente validam a forma que os dados de tensão máxima de ruptura são modelados na literatura visto que estes mesmos dados, porem sendo obtidos para fibras diferentes são modelados utilizando a distribuição estatística de Weibull.

4. CONCLUSÃO

Visto que com a crescente demanda por materiais ecologicamente corretos, tem se estudado mais e mais substituintes renováveis para muitos dos materiais atuais e uma grade linha de pesquisa para a substituição destes materiais é a pesquisa com compósitos reforçados com fibras naturais. E tendo em vista que as propriedades das fibras influenciam diretamente as propriedades dos materiais compósitos foi feito este estudo.

Portanto neste trabalho foi possível observar que a resistência da fibra de bambu está ligada diretamente a sua posição no colmo do bambu assim revelando que as fibras mais rígidas do bambu estão na sua região mais externa enquanto as fibras com maior resistência a fratura do bambu estão na sua região mais interna. Assim oferecendo ao bambu regiões mais rígidas e outras mais resistentes.

E também foi visto que as resistências das fibras do bambu seguem a distribuição estatística de Weibull visto que a mesma conseguiu modelar satisfatoriamente os valores das resistências as fraturas das fibras das duas regiões distintas da planta.

5. REFERÊNCIAS

(espaço simples entre linhas, tamanho 10)

1. Mallick, P.K., Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design, 3rd ed., CRC Press. 2008.
2. Silva, F. A., 2004, “Tenacidade de Materiais Não Convencionais”, Msc, Dissertação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
3. Alencar, A. R., Melo, S. L. S., Maciel Junior, R. P., Deus, E.P., 2015 “Levantamento das Propriedades Mecânicas de Compósitos de Matriz Termoplásticas Reforçados com Fibras Longas de Bambu pela Análise Estatística de Weibull”, 70º Congresso Internacional da Associação Brasileira de Metalurgia, Minas e Materiais

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

EVALUATION OF MEDIUM RESISTANCE TO FRACTURE OF FIBER FROM DIFFERENT REGIONS OF BAMBOO FOR STATISTIC ANALYSIS OF WEIBULL DISTRIBUTION

(single blank line size 14)

Roberto Abreu Alencar, robertoabreu.alencar@gmail.com¹

Santino Loruan Silvestre de Melo, santinoloruan@fisica.ufc.br¹

Renardir Peixoto Maciel Júnior, renardirjunior@hotmail.com¹

Enio Pontes de Deus, lameff.brasil@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Ceará, Laboratório da Mecânica da Fratura e Fadiga, bloco 720, campus do pici

²Universidade Federal do Ceará, Laboratório da Mecânica da Fratura e Fadiga, bloco 720, campus do pici

Abstract. Nowadays the use of renewable natural materials to replace conventional engineering materials has become trend. Among many options bamboo fiber, like bamboo, is well known for its good mechanical properties combined with its low cost of production and manufacturing of its fibers, be as their applicability in engineer problems. However, a problem arises because the natural fiber has a large variation in their mechanical properties, thus being able to create a non-compliance in his engineering uses. However, if you can model these properties by tools statistics. In this work we used statistical Weibull analysis tool, because it can successfully model the statistical behavior of some mechanical properties of brittle behavior of materials such as bamboo fiber. The method will be applied in the test results of traction obtained taken from different regions of the bamboo fiber, thus also determine the variability of the agreement fibers of bamboo stalk region. The tests were performed according to ASTM D3822. As noted in literature the Weibull distribution could well provide an average for the mechanical property of resistance to fracture of the fibers

Keywords: Bamboo fiber, resistance to fracture, statistical analysis, Weibull distribution