

COMPORTAMENTO MORFOLÓGICO E MECÂNICO DE FIBRAS DE COCO TRATADAS SUPERFICIALMENTE E DE MANTAS DE FIBRA DE COCO*

Alexandre de Souza Rios¹

Luiz Carlos Gonçalves Pennafort Júnior²

Abner Guilherme Teixeira Lima³

Enio Pontes de Deus⁴

Resumo

Neste estudo, caracterizações morfológicas e mecânicas foram utilizadas em fibras de coco brasileiras na condição como recebida e tratadas superficialmente (por NaOH, aquecidas e por NaOH seguido de aquecimento) e em mantas de fibras de coco fabricadas por compressão. Para a análise morfológica foi utilizada a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e para a análise mecânica foi utilizado o ensaio de tração uniaxial. As análises por MEV apresentaram que as fibras tratadas por NaOH possuem paredes celulares externas mais nítidas e partículas circulares com diâmetros de aproximadamente 10 µm. O tratamento químico alterou a parede externa das fibras de coco; em uma das amostras foram vistas microtrincas da ordem de 7 a 60 µm em virtude do tratamento seguido de aquecimento. O módulo inicial (módulo de elasticidade) e a tensão de ruptura diminuíram com o aumento de diâmetro nas quatro condições de fibras de coco estudadas. A geometria e a massa da manta de fibra de coco influenciaram no seu comportamento mecânico.

Palavras-chave: Fibra de coco; Comportamento morfológico; Comportamento mecânico.

MORPHOLOGICAL AND MECHANICAL BEHAVIOR OF COCONUT FIBERS TREATED SUPERFICIALLY AND COCONUT FIBERS MATS

Abstract

Natural fibers has recently gained attention due to low environmental impact, low cost and easy availability. Morphological and mechanical investigations on Brazilian coconut fibers in four different surface conditions (as received; dried; chemically treated by NaOH; chemically treated by NaOH followed by heating) and coconut fiber mats manufactured by compression were used in this study. Scanning Electron Microscopy (SEM) were used to morphological analysis and in-situ mechanical testing uniaxial traction were used. SEM analysis showed the chemically treated coconut fibers have sharper external cell walls and circular particles with diameters of approximately 10 µm. Chemical treatment altered the external wall of coconut fibers; on one of the samples were seen microcracks order 7 to 60 µm due to the treatment followed by heating. The initial modulus (modulus of elasticity) and tensile strength decreased with increasing diameter for the four conditions of coconut fibers. The geometry and the weight of the coconut fiber mats influenced their mechanical behavior.

Keywords: Coconut fiber, Morphological behavior, Mechanical behavior.

¹ *Doutorando em Engenharia e Ciências de Materiais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil. Doutorando em Engenharia Mecânica, Laboratoire de Mécanique et Technologie, École Normale Supérieure de Cachan, Cachan, França.*

² *Doutorando em Engenharia e Ciências de Materiais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.*

³ *Mestrando em Engenharia e Ciências de Materiais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.*

⁴ *Professor/Doutor em Engenharia Estrutural, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e a utilização de materiais obtidos de fontes renováveis tem sido uma necessidade corrente nos últimos anos por questões ambientais. Esses materiais são objetos de estudo de diversos estudos e pesquisas para mostrar potenciais aplicações como substitutos aos materiais derivados do petróleo, de custo elevado e de impacto ambiental elevado. As fibras naturais vêm apresentando um grande potencial de aplicação em diversos setores industriais. Por isso, a compreensão de suas propriedades e entendimento delas em termos de sua microestrutura é de fundamental importância para definição de novas aplicações [1]. A fibra de coco é utilizada na fabricação de diversos itens, tais como mantas e cordas em razão de boas características, incluindo resistência específica e durabilidade boas e baixa densidade [2,3]. Análises térmicas de mantas fabricadas com fibra de coco e látex apresentaram maior estabilidade e emissão de gases com menor toxicidade do que as tradicionais espumas de poliuretano [4].

Assim, como para outras fibras naturais lignocelulósicas, o uso de fibras de coco na preparação de materiais compósitos poliméricos é limitado pela baixa compatibilidade com as matrizes poliméricas. Contudo, alguns trabalhos mostram que as fibras de coco são suscetíveis a tratamentos químicos, tais como o tratamento alcalino, que podem alterar sua hidrofobicidade e aumentar suas propriedades mecânicas [5,6]. As ceras e gorduras vegetais presentes nessa fibra são de origem alifática e apolar, formando uma camada incompatível com a maioria dos polímeros [7]. Outros procedimentos sobre a superfície da fibra de coco, como ataques térmicos, físicos e mecânicos proporcionam melhorias na interface da fibra de coco com polímeros [1].

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e ensaios mecânicos in-situ serão utilizados nesse estudo com o objetivo de para apresentar a microestrutura e morfologia das fibras de coco e mantas e compreender seus mecanismos de ruptura através da determinação de suas características mecânicas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Fibra de Coco

As fibras de coco utilizadas neste trabalho foram fornecidas pela EMBRAPA Agroindústrias Tropical de Fortaleza-CE (Brasil). A Figura 1a mostra as fibras de coco na sua condição de recebimento.

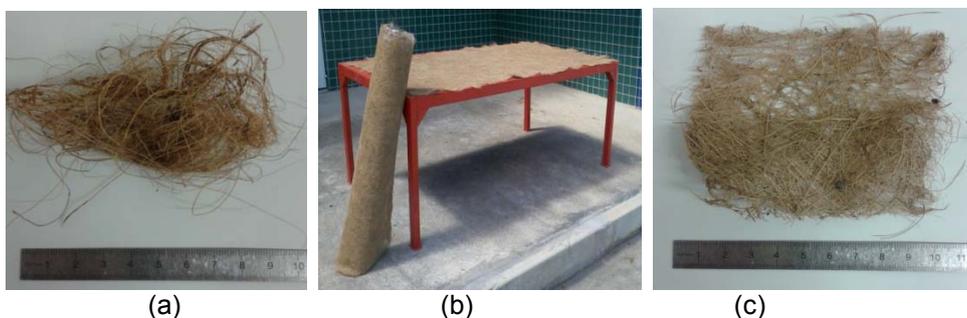


Figura 1. (a) Fibra de coco *como recebida* e (b) e (c) manta de fibra de coco fabricada.

Nesse estudo, amostras de mantas foram fabricadas (Figuras 1b e 1c) através da distribuição aleatória de fibras de coco *como recebida* e gramatura de 250 g/m². Foram utilizados o látex como ligante e um rolo para compressão das fibras.

2.2 Tratamento Superficial das Fibras

Neste trabalho foram realizadas técnicas que objetivaram remover resíduos externos das fibras de coco provenientes da casca do coco verde (gordura vegetal) e outros materiais orgânicos oriundos da sua manufatura e manuseio, sendo, portanto, estudadas quatro condições diferentes. Fibras que não receberam nenhum tratamento superficial, ou seja, fibras *como recebida* ou *in natura*. Fibras que receberam tratamento químico por NaOH através da imersão em uma solução de 5% de NaOH (100g de fibra de coco por litro de solução de NaOH). Fibras na condição *como recebida* e que foram aquecidas em estufa à temperatura de 60±10°C por 24 horas e, por fim, fibras que receberam o mesmo tratamento químico por NaOH como descrito acima e, em seguida, receberam o aquecimento da última condição.

2.3 Morfologia das Fibras e Manta

A morfologia das fibras foi caracterizada em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), SEM *Hitachi*, modelo S-3400N, com tensões de aceleração de 2 a 5 kV e ampliações de 200, 300 e 500x. Os tamanhos de cada pixel nas imagens são de 248, 331 e 99 nm para as ampliações de 200, 300 e 500x, respectivamente. As superfícies das fibras de coco foram metalizadas superficialmente por ouro em vácuo (pressão mínima de 0,05 mbar) durante 20 segundos e 20 mA.

2.4 Caracterização do Comportamento Mecânico

Ensaio de tração nas quatro condições de fibras de coco foram realizados segundo a norma ASTM C1557-03 (2013) no interior do MEV utilizado na avaliação do seu comportamento morfológico com o auxílio de um aparato que dispunha de garras apropriadas para realizar um ensaio de tração em pequenas amostras [8]. Foi utilizada uma célula de carga de precisão de 0,1 N e faixa de medição de 0 a 500 N. Para cada ensaio, uma fibra foi fixada com cola do tipo instantânea (composta por éster de cianoacrilato) em um papel retangular de gramatura de 180 g/m² com 40 mm de comprimento e 10 mm de largura e contendo um corte retangular com 15 mm de comprimento e 8 mm de largura no seu centro, onde a fibra foi fixada nas suas extremidades. A distância entre as garras foi de 15 mm e a velocidade do ensaio foi de 1 µm/s ou 0,06 mm/min.

Para caracterizar o comportamento mecânico das mantas de fibra de coco, ensaios de tração na manta de fibra de coco na máquina *Instron 5882* foram utilizados seguindo a norma EN ISO 10319:2008 e os trabalhos de Ridruejo *et al.*, 2010 [9,10]. A velocidade utilizada foi de 0,2 mm/s ou 12 mm/min, com uma célula de precisão de 0,5 N e faixa de medição de 0 a 500 N. Amostras retangulares de mantas com duas dimensões foram adotadas: 20 mm de largura e 10 mm de distância entre as garras (20 x 10 mm²) e 40 mm de largura e 20 mm de distância entre as garras (40 x 20 mm²). Em ambos os casos, o comprimento no interior de cada garra foi de 10mm. Nas duas situações de amostras, o tamanho do pixel nas imagens capturadas foi de 12 µm. A massa de cada amostra foi determinada antes da execução dos ensaios,

pois a quantidade de fibras na mesma área (gramatura) pode variar, interferindo nas suas propriedades. Os resultados serão apresentados utilizando o carregamento de cada ensaio, força por largura (N/m) e a deformação na ruptura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Comportamento Morfológico

A Figura 2 apresenta as micrografias por MEV da seção longitudinal externa das quatro condições de fibras de coco.

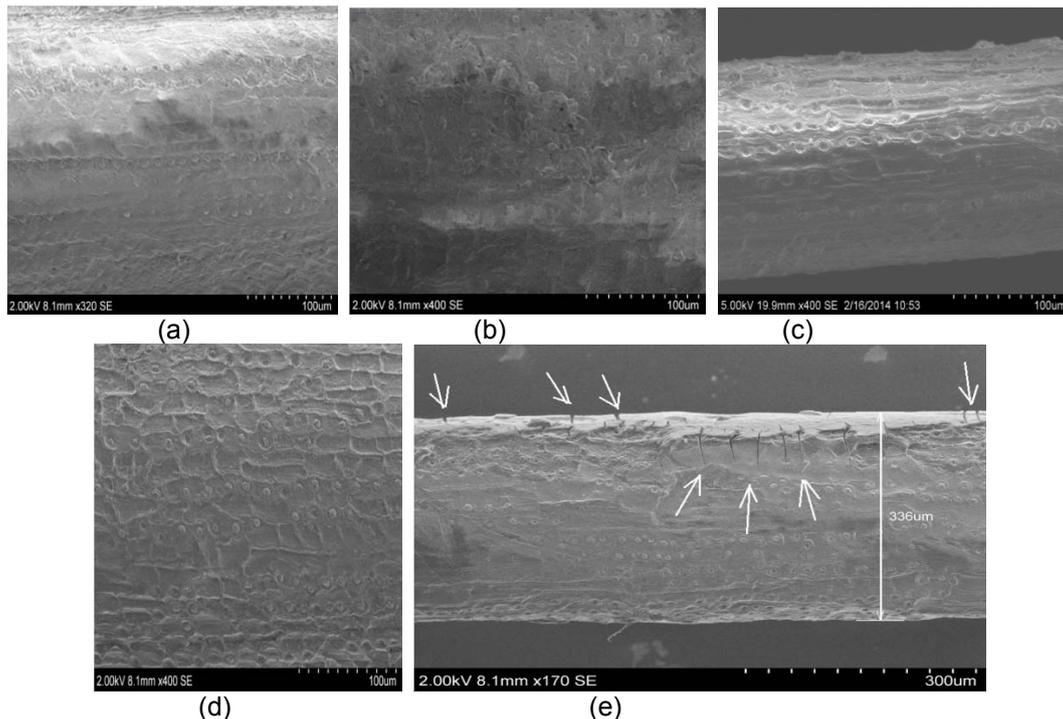


Figura 2. Superfície longitudinal externa de quatro fibras de coco diferentes por MEV nas condições: (a) *como recebida*, (b) *seca*, (c) *quimicamente tratada*, (d) *quimicamente tratada e seca* e (e) *microtrincas encontradas* em uma das amostras de fibras tratadas quimicamente e secas.

É possível visualizar que a superfície da fibra na condição *como recebida* é pouco rugosa ou lisa, devido à impurezas, gorduras e resíduos de materiais orgânicos que ficaram aderidos na superfície das fibras. Um comportamento semelhante foi observado nas fibras de condição *seca*. Contudo, a temperatura inserida de 60°C por 24 horas permite eliminar a umidade ou água que possa ter permanecido após a extração das fibras ou armazenamento indevido, permitindo a fabricação de compósitos poliméricos sem poros provenientes da evaporação de água. É possível visualizar com mais nitidez as paredes celulares externas após o tratamento químico por NaOH, além de algumas partículas globulares e circulares com diâmetros de aproximadamente 10 µm, vistos em intervalos regulares e incorporados à sua superfície, em razão da remoção de eventuais impurezas. Estas observações estão em conformidade com os resultados relatados na literatura [11-13]. As fibras tratadas quimicamente e secas se mostraram semelhantes às fibras tratadas quimicamente com a vantagem da eliminação da umidade. Contudo, foram encontradas microtrincas da ordem de 7 a 60 µm (Figura 2e) em uma das amostras de fibras tratadas quimicamente e secas em virtude da remoção parcial de

constituintes externos da fibra (lignina, celulose e hemicelulose) associada ao aquecimento. Essas descontinuidades comprometem sua resistência mecânica. Diâmetros de um conjunto de 22 fibras de coco escolhidas aleatoriamente foram medidos em seis regiões ao longo do seu comprimento de 15 mm no MEV (totalizando 132 medições). A Figura 4 apresenta os pontos de medição das amostras de fibras nas quatro condições avaliadas. Os diâmetros medidos variaram de 114 a 499 μm .

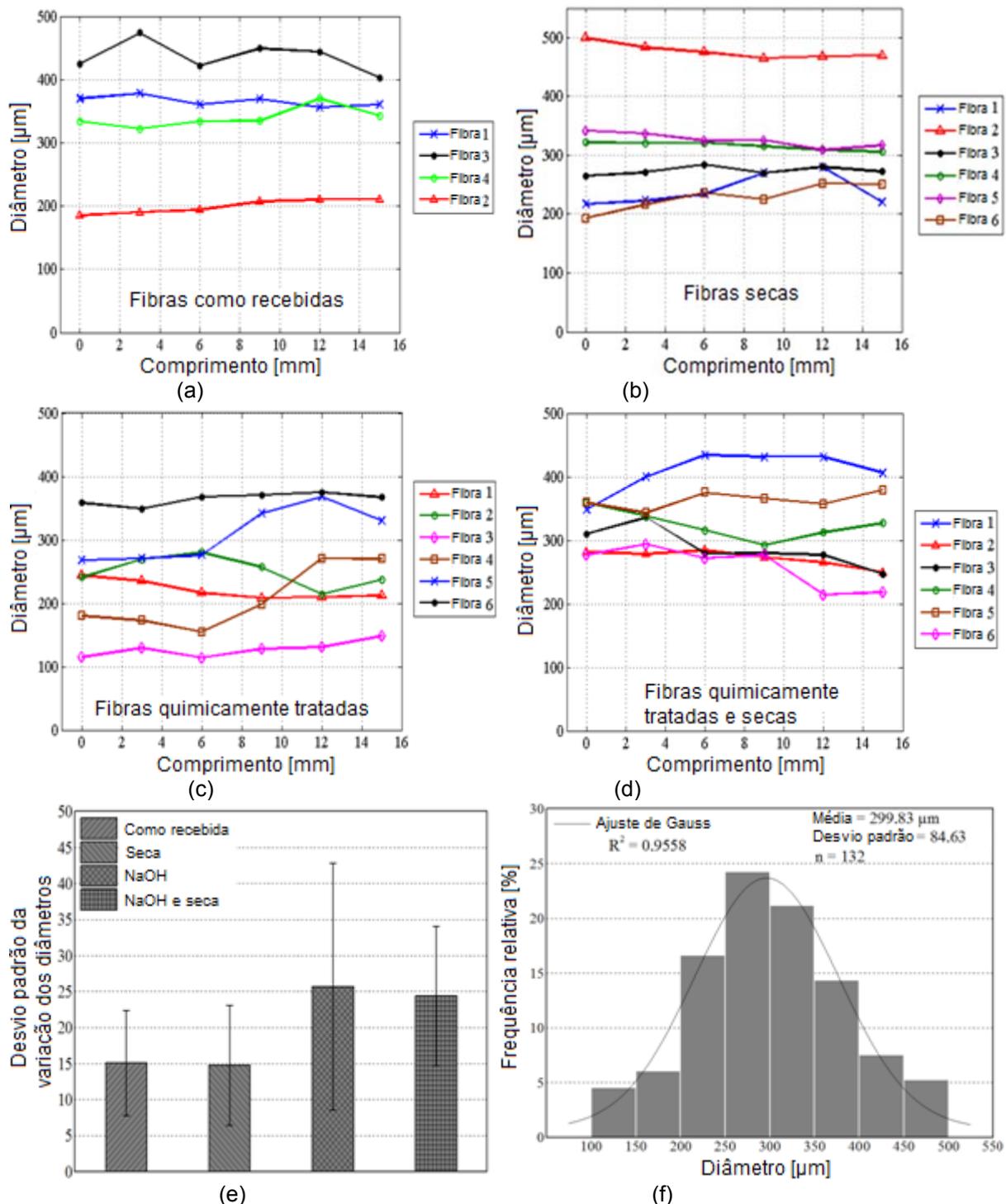


Figura 3. Medições dos diâmetros ao longo do comprimento das fibras nas condições: (a) como recebida, (b) secas, (c) tratadas quimicamente e (d) tratadas quimicamente e secas. (e) Desvio padrão da variação dos diâmetros e (f) histograma dos diâmetros da fibra de coco.

Com a Figura 3 pode-se afirmar que não houve mudanças significativas ao longo do comprimento das fibras nas condições como recebida e seca, enquanto que algumas fibras tratadas quimicamente possuem desvios padrões superiores à 30%. Isso pode ser explicado pela remoção parcial e desigual de constituintes da fibra após o tratamento químico por NaOH, conforme apresentado em micrografia anterior. Brígida et al. [14] utilizaram um tratamento químico por imersão de 5g de fibras em solução de 4 a 6% de 100 mL de NaOCl durante 2 horas a 30°C e, em seguida, as fibras foram lavadas com água e embebidas em solução de 10% de 100 mL de NaOH durante 1 hora a 30 °C. O tratamento utilizado por Brígida et al. [14] causou uma redução significativa em aproximadamente um terço do diâmetro médio de fibra de coco, se comparado ao da fibra natural.

A Figura 3 apresenta o histograma dos diâmetros medidos da fibra de coco através de histogramas da frequência relativa para as 132 medições, obtendo-se uma média de 299,83 μm , desvio padrão de 84,63 e a distribuição do ajuste de Gauss. Grandes variações dos valores de diâmetro também foram observadas por Silva et al. [7], com valores mínimos e máximos de 269 e 419 μm , respectivamente, e um diâmetro médio de $337 \pm 55 \mu\text{m}$ para o diâmetro de uma única fibra. Diferentes estudos relataram diâmetros médios variando de 40 a 400 μm para fibras de coco do Brasil [2]. A variação do clima, a maturação, a espécie, o local e o método de extração do coco verde influenciam em comportamentos morfológicos diferentes para a fibra de coco [14,1]

3.3 Comportamento Mecânico

Na Figura 4a são apresentadas quatro curvas de tensão x deformação em quatro diâmetros diferentes (variando de 254 a 393 μm) de fibras na condição *como recebida*.

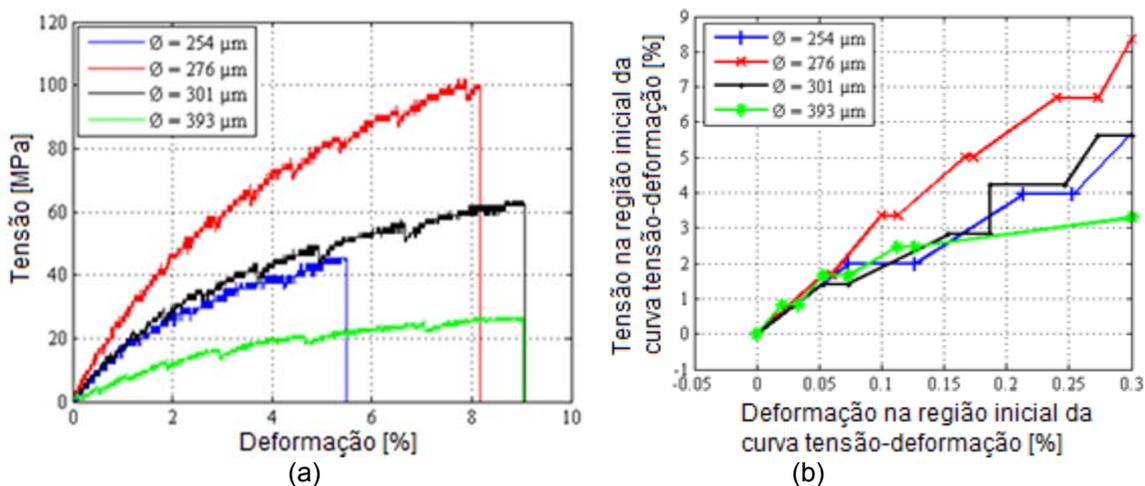


Figura 4. (a) Curva tensão-deformação de algumas fibras na condição *como recebida* em diferentes diâmetros e (b) região elástica analisada.

A Figura 4b apresenta o início da curva tensão-deformação e sua tangente, nas quais apresentaram não-linearidades relacionadas com a incerteza de medição do equipamento que realizou o ensaio e com a natureza das ligações químicas das fibras lignocelulósicas, e, portanto, o módulo de elasticidade será chamado de módulo inicial nesse estudo. A incerteza nessa região está de acordo com outros estudos sobre fibras de coco brasileiras. Sendo assim, o módulo de elasticidade da

fibra de coco apresenta valores dispersos [1,2,15,16]. A tensão de ruptura foi determinada como a última tensão na qual a fibra suportou a tensão aplicada na região plástica e a deformação associada a essa tensão foi denominada de deformação na ruptura. Segundo as curvas acima, os diâmetros das fibras de coco influenciaram significativamente no seu comportamento mecânico na qual a sua influencia é melhor apresentada na Figura 5.

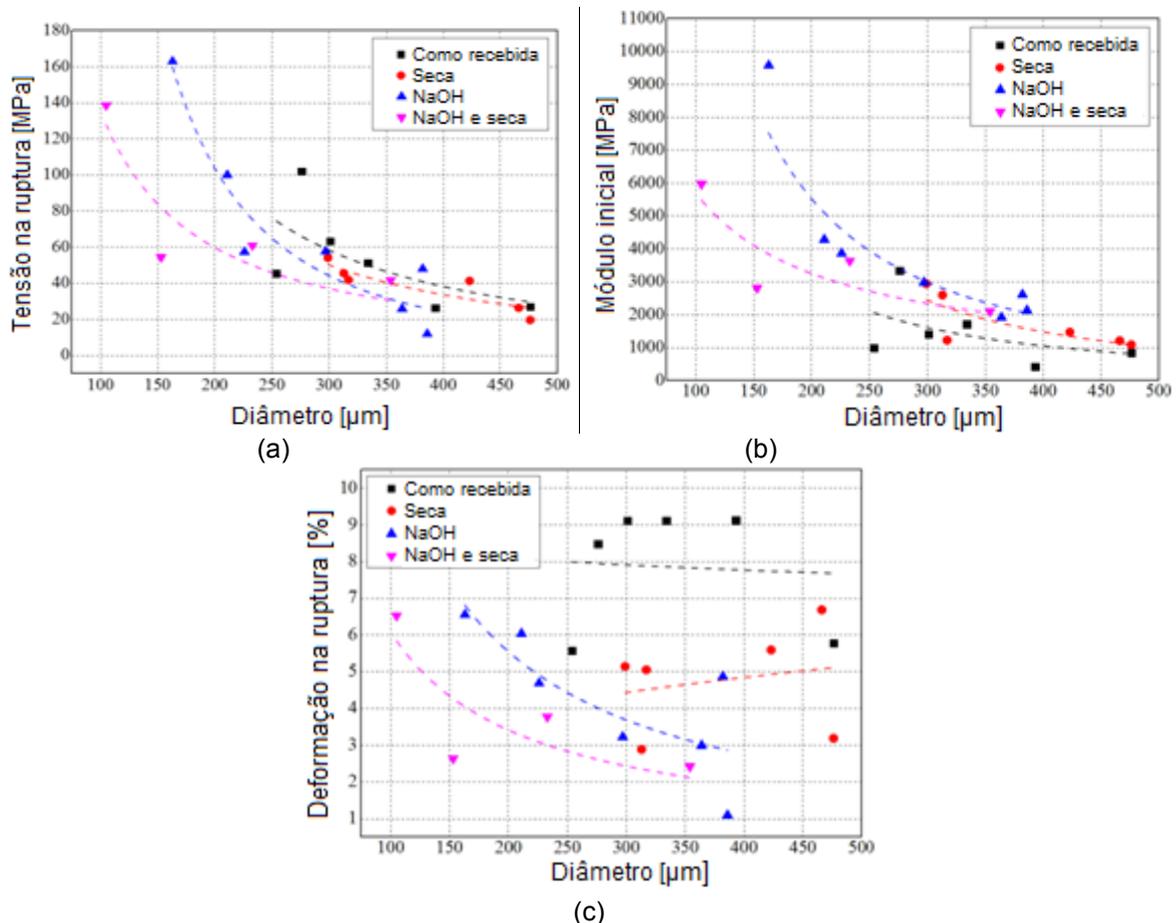


Figura 5. Influência do diâmetro nas propriedades mecânicas das fibras de coco nas condições avaliadas: como recebida, seca, tratada por NaOH e tratada por NaOH e seca.

Segundo a Figura 5, o módulo inicial e a tensão de ruptura apresentaram diminuição com o aumento de diâmetro da fibra de coco em todas as condições avaliadas. Este comportamento é observado nos estudos sobre fibras de coco de Tomczak [1] e Fernandes *et al.* (2013) [1,11], como também em outras fibras naturais, como as de abacaxi [17] e de linho [18,19]. Entretanto, para fibras de coco da Índia, o comportamento observado é o contrário ao apresentado nesse estudo [16]. Apesar dessa influência, pode ser relatado que à partir de 300 μm de diâmetro houve convergência da resistência à tração e do módulo inicial para valores mais estáveis na ordem de 20 a 60 MPa e 1 a 3 GPa, respectivamente. Os valores de deformação na ruptura apresentaram pequena variação quanto às modificações nos diâmetros. A influência do diâmetro no comportamento mecânico da fibra pode ser explicada em termos de propriedades estruturais das fibras. Com o aumento do diâmetro, há variações no número de células constituintes, alterando outros parâmetros estruturais, tais como ângulo helicoidal, volume das células constituintes e número de defeitos. Todos estes fatores atuam diminuindo a resistência das fibras (queda da tensão de ruptura e módulo de elasticidade) [1]. A Figura 6 compara a tensão na

ruptura, módulo de elasticidade e deformação na ruptura das quatro condições de fibras de coco.

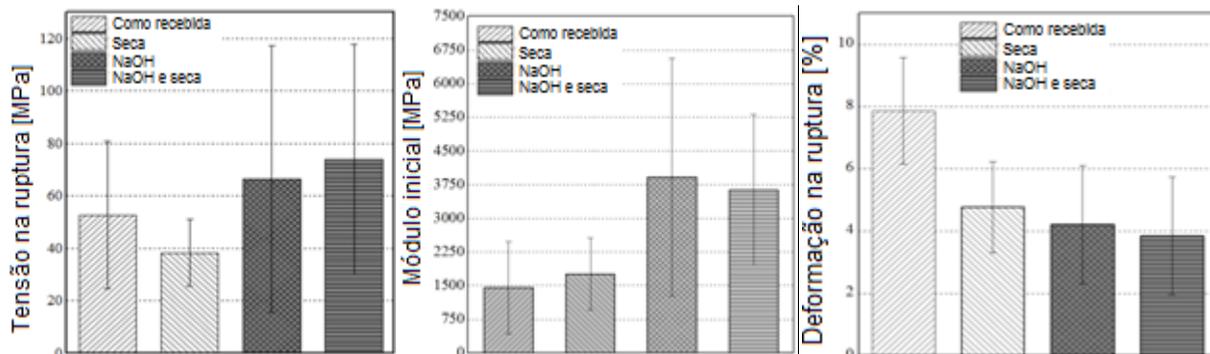


Figura 6. Influência das condições de fibras e dos diâmetros nas propriedades mecânicas: tensão na ruptura, módulo inicial e deformação na ruptura.

Segundo a Figura 6, o tratamento químico por NaOH proporcionou um aumento na tensão de ruptura e no módulo de elasticidade, embora tenha influenciado de forma inversa na deformação da ruptura, demonstrando que o tratamento químico superficial utilizado nesse estudo aumentou a rigidez das fibras. As condições como recebida e seca apresentaram as três propriedades mecânicas de forma aproximadas. Os altos valores de desvio padrão foram ocasionados por variações morfológicas e pela força das ligações químicas em cada condição de fibra. Na Figura 7 é apresentada uma fratura da fibra de coco na direção ortogonal à direção do ensaio de tração, na qual se apresentou de forma dúctil, com saca-fibras de microfibrilas, geralmente observado em fibras com deformação na ruptura superior a 4%. Como é comum nas fibras lignocelulósicas, a região de ruptura é formada por inúmeras fibrilas que são rompidas individualmente até a separação final [20,21]. A fratura apresentada foi encontrada na direção ortogonal à direção do ensaio de tração.

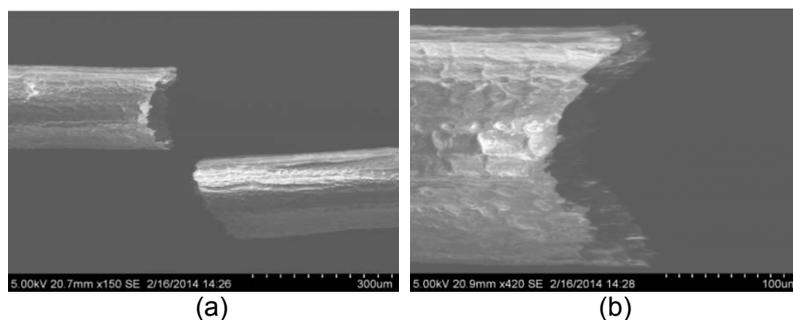


Figura 7. Ruptura da fibra: (a) 150 x e (b) 420x.

O comportamento mecânico da manta de fibra de coco foi caracterizado a partir de sua tensão nominal (força por unidade de largura), conforme a norma EN ISO 10319:2008. A Figura 8a apresenta uma curva tensão nominal x deformação para um corpo-de-prova de geometria 20 x 10 mm².

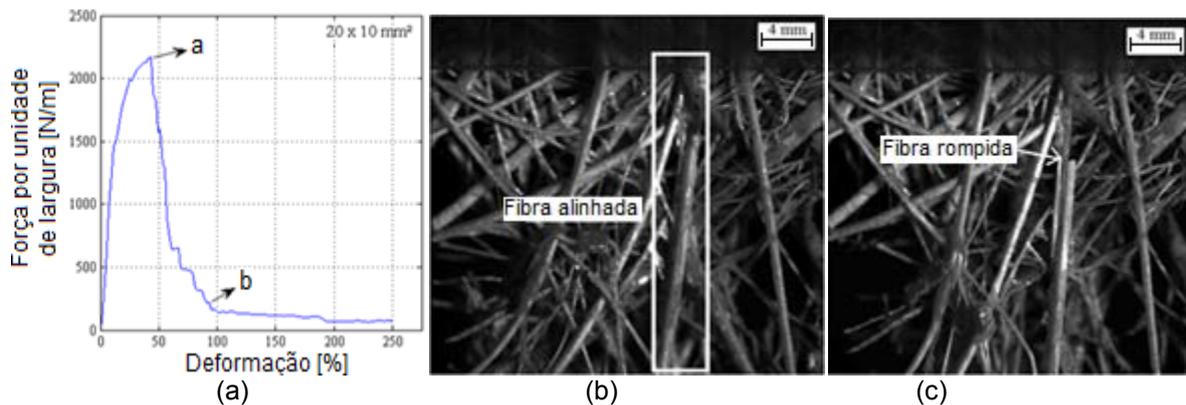


Figura 8. (a) Tensão nominal x deformação na manta de fibra de coco. Imagens da manta de fibra de coco: (b) fibra alinhada no detalhe (30 s, 655 N/m e 0,133%) e (c) fibra rompida no detalhe (51 s, 82 N/m e 0,238%).

Apesar da dispersão significativa, inerente à microestrutura não homogênea das mantas, todas as curvas apresentaram um comportamento semelhante como apresentado na Figura 8a. A tensão nominal aumentou linearmente até iniciar ruptura de diversas fibras de coco presente no corpo-de-prova. Em todos os ensaios, foi encontrado um valor máximo para essa tensão e que corresponde ao aparecimento de danos associados a uma deformação particular de cada ensaio e onde se inicia o rompimento das fibras que estão preferencialmente orientadas na direção do ensaio. Outros eventos subsequentes de ruptura ou de picos de tensão nominal menores estão relacionados com fibras que não estavam perfeitamente alinhadas na direção do ensaio antes do seu início, mas que foram submetidas aos esforços do ensaio em cadeia até a ruptura final do corpo-de-prova de manta. O aspecto macroscópico da manta no instante da máxima tensão nominal mostrou algumas fibras melhor alinhadas na direção do ensaio (Figuras 8b) e pôde-se observar que o dano foi devido à sequência de fratura das fibras (Figura 8c). As Figuras 8b (30 segundos, 655 KN/m e 0,133%) e 8c (51 segundos, 82 KN/m e 0,238%) detalham o alinhamento e a ruptura de uma fibra de coco, respectivamente, após a tensão nominal máxima e os rompimentos iniciais. Após essas rupturas iniciais, a capacidade de transmissão de tensão da manta diminui bruscamente, mesmo que existam menores picos de tensão nominal no decorrer do ensaio. A máxima tensão nominal e a ruptura de uma fibra da Figura 8c são possíveis de serem visualizadas na curva tensão x deformação do ensaio mencionado, nos pontos a e b da Figura 8a, respectivamente.

Foi visto anteriormente que a manta de fibra de coco possuía variações de massa em diferentes áreas, nas quais representaram variações no seu comportamento mecânico. A Figura 9 apresenta a tensão nominal e deformação em função da massa de cada corpo-de-prova para as áreas de 20 x 10 e 40 x 20 mm². A tensão nominal média e a deformação na ruptura das mantas de menor e maior área são 3315,9 N/m, 1593,7 N/m, 33,5% e 25,3%, respectivamente. Através de resultados dispersos, os corpos-de-prova com maior massa apresentaram maior resistência mecânica para as duas geometrias de manta. A massa não influenciou diretamente nos resultados da deformação na ruptura. Os corpos-de-prova de menor geometria apresentaram maior tensão nominal média, visto que menos defeitos são encontrados, em consonância com a influência do diâmetro nas fibras de coco.

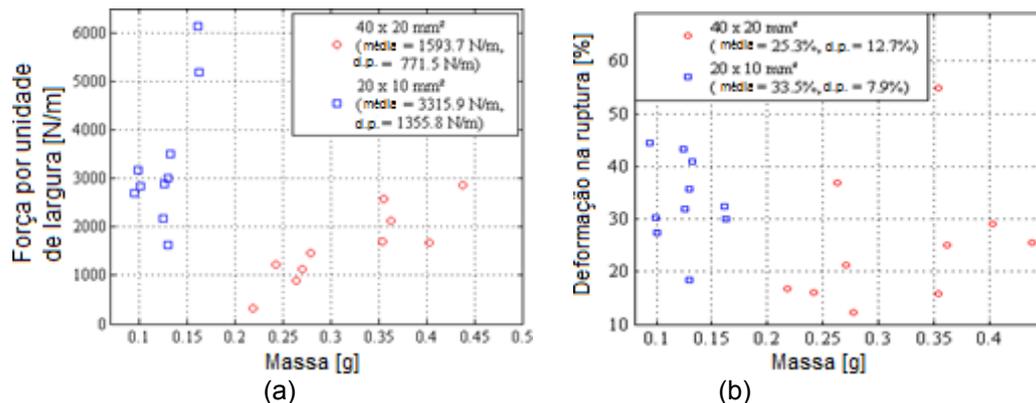


Figura 9. Influência da massa no comportamento mecânico da manta de fibra de coco de áreas 20 x 10 e 40 x 20 mm²: (a) tensão nominal e (b) deformação na ruptura.

4 CONCLUSÃO

As técnicas empregadas para a avaliação do comportamento morfológico e mecânico da fibra de coco e da manta atenderam aos objetivos desse estudo. O tratamento químico por solução aquosa de 5% de NaOH removeu impurezas na superfície externa da fibra de coco ao evidenciar o aparecimento partículas globulares e circulares. Após 132 medições diametraes, foi visto que o tratamento químico alterou os diâmetros das fibras de coco; em uma das amostras foram vistas microtrincas da ordem de 7 a 60 μm em virtude do tratamento seguido de aquecimento. O aquecimento de 60°C não modificou morfológicamente essa região. O diâmetro e os tratamentos superficiais das fibras de coco influenciaram no seu comportamento mecânico. A geometria e a massa da manta foram significativas na sua tensão nominal.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte da parceria CAPES-COFECUB.

REFERÊNCIAS

- 1 Tomczak F. Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil. Universidade Federal do Paraná. Tese de Doutorado. Curitiba, Paraná, Brasil, 2010.
- 2 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, 38, 1694–1709, 2007.
- 3 Frank R. R., Bast and other fibers, Woodhead Publishing, 2005.
- 4 Salazar V. L. P., Caraschi J. C., Leão A. L. Eng. San. Amb. 2005; 10(2): 162-166
- 5 Calado V., Barreto D. W., D’Almeida J. R. M., J. Materials Sci Letters 2000; 19: 2151-2153.
- 6 Rahman M. M., Khan M. A., Comp. Sci. Tech. 2007; 67: 2369-2376.
- 7 Silva, R. V. Compósito de Resina Poliuretano Derivada de Óleo de Mamona e Fibras Vegetais. Tese de D.Sc. Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.
- 8 ASTM C1557 - 03(2013). Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers.
- 9 EN ISO 10319:2008 – Geosynthetics – Wide-width tensile test.

- 10 Ridruejo A., González C., Llorca J. Damage micromechanisms and notch sensitivity of glass-fiber non-woven felts: An experimental and numerical study. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 58(2010)1628–1645.
- 11 Fernandes E. M., Correlo V. M., Mano J. F., Reis R. L. Novel cork–polymer composites reinforced with short natural coconut fibres: Effect of fibre loading and coupling agent addition. *Composites Science and Technology* 78 (2013) 56–62.
- 12 Brahmakumar M., Pavithran C., Pillai R.M. Coconut fibre reinforced polyethylene composites: effect of natural waxy surface layer of the fibre on fibre/matrix interfacial bonding and strength of composites. *Composites Science and Technology* 65 (2005) 563–569.
- 13 Bismarck A., Mohanty A. K., Aranberri-Askargorta I., Czapla S., Misra M, Hinrichsen G. et al. Surface characterization of natural fibers; surface properties and the water up-take behavior of modified sisal and coir fibers. *Green Chem* 2001;3(2):100–7.
- 14 Brígida A. I. S., Calado V. M. A., Gonçalves L. R. B., Coelho. Effect of chemical treatments on properties of green coconut fiber. *Carbohydrate Polymers* 79 (2010) 832–838.
- 15 Satyanarayana K. G., Sukumaran K., Mukherjee P. S., Pavithran C., Piuai S. G. K. Natural Fibre-Polymer Composites. *Cement & Concrete Composites* 12 (1990) 117-136.
- 16 Fidelis M. E. A., Pereira T. V. C., Gomes O. F. M., Silva F. A., Filho R. D. T. The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers. *Journal of Materials Research and Technology*. 2013;2(2):149–157
- 17 Kulkarni, A. G., Satyanarayana, K. G., Rohatgi, P. K., Vijayan, K. Mechanical properties of banana fibres (*Musa sepientum*). *Journal of materials science* 18, p. 2290-2296, 1983.
- 18 Anderson, J., Sparnis, E., Joffe, R.; R, Wallström L. Strength distribution of elementary flax fibres. *Composites Science and Technology*, 65, p. 693–702, 2005.
- 19 Baly, C. Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase. *Composites – Part A*, 33, p. 939–48, 2002.
- 20 Tomczak F., Sydenstricker T. H. D, Satyanarayana K. G. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part II: Morphology and properties of Brazilian coconut fibers. *Composites: Part A* 38 (2007) 1710–1721.
- 21 Monteiro S. N., Terrones L. A. H., Carvalho E. A., D'almeida J. R. M.. Efeito da Interface Fibra/Matriz Sobre a Resistência de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras de Coco. *Revista Matéria*, v. 11, n. 4, pp. 395 – 402, 2006.