

INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA MORFOLÓGICA VIA ANÁLISE DE IMAGENS NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE FIBRAS NATURAIS¹

Thatiana Vitorino Castro Pereira²
Maria Ernestina Alves Fidelis³
Otávio da Fonseca Martins Gomes⁴
Flávio de Andrade Silva⁵
Romildo Dias Toledo Filho⁶

Resumo

Esse trabalho tem como objetivo relacionar a morfologia de diferentes fibras naturais com suas propriedades mecânicas. Fibras de juta, sisal, curauá, coco e piaçava foram testadas sob tração direta em uma máquina de ensaios universais. Para cada tipo de fibra foram realizados 15 testes em amostras com comprimento de 40 mm, sob controle de deslocamento a uma taxa de 0,2 mm/min (taxa de deformação de 0,00008s⁻¹). A área da seção transversal das fibras foi calculada através de análise de imagens obtidas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV). Para as fibras de sisal, juta e curauá foram medidas a quantidade de fibrocélulas, o tamanho das paredes celulares e calculada a área real das fibras. Análise estatística Weibull foi utilizada para quantificar o grau de variabilidade da resistência das fibras estudadas. Uma análise microestrutural via microscopia eletrônica de varredura foi realizada para comparação da morfologia das fibras. Finalmente, os resultados obtidos nos ensaios de tração direta foram correlacionados com a morfologia das diferentes fibras investigadas.

Palavras-chave: Fibras naturais; Propriedades mecânicas; Análise estatística; MEV.

THE EFFECT OF FIBER MORPHOLOGY ON THE TENSILE STRENGTH OF NATURAL FIBERS

Abstract

In the present work the morphology of natural fibers was correlated with their mechanical properties via image analysis. Jute, sisal, curaua, coconut and piassava fibers were tested under direct tension in a universal testing machine. For each type of fiber tensile tests were performed in specimens with 40 mm gage length using the displacement control at a rate of 0.2 mm/min (strain rate of 0.00008 s⁻¹). The cross-sectional areas of the fibers were calculated using images obtained in a scanning electron microscope (SEM). For sisal, jute and curaua fibers the amount of fiber-cells, the size of the cell walls and the real area of the fibers were measured. Weibull statistical analysis was used to quantify the variability of fiber strength. Analysis of the microstructure via scanning electron microscopy was performed to compare the morphology of the fibers. Finally, the results obtained in direct tensile tests were correlated with the morphology of the fibers investigated.

Key words: Natural fibers; Mechanical properties; Statistical analysis; SEM.

¹ Contribuição técnica ao 67^o Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Graduanda em Engenharia Ambiental, Bolsista de Iniciação Científica. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil.

³ Engenheira Civil, Doutoranda em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil. UFRJ

⁴ Engenheiro Químico, D.Sc., Tecnologista Pleno III. Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Brasil.

⁵ Engenheiro Civil, D.Sc., Professor Colaborador. Departamento de Engenharia Civil, UFRJ

⁶ Engenheiro Civil, D.Sc., Professor Associado. Departamento de Engenharia Civil, UFRJ

1 INTRODUÇÃO

A utilização de fibras naturais como reforço em matrizes cimentícias e poliméricas tem sido amplamente pesquisada nos últimos 20 anos. Materiais com alto desempenho podem ser obtidos através de adição de fibras sintéticas, como as de vidro e carbono, por exemplo. Em casos onde a finalidade é a obtenção de produtos leves, tal objetivo pode ser alcançado através da adição de fibras naturais. Há estudos que buscam novas aplicações com fibras naturais, para fabricação de materiais onde a resistência não seja requisito mais importante.⁽¹⁾

As fibras vegetais apresentam várias vantagens em comparação às fibras sintéticas. Elas são biodegradáveis, de fontes renováveis e abundantes, são não abrasivas para os equipamentos de processamento e possuem neutralidade de emissão de CO₂. São também leves e apresentam boas propriedades mecânicas quando comparadas às fibras de vidro. Podem ser utilizadas como isoladores térmicos e acústicos. Além disso, são importante fonte de renda para população agrícola.^(2,3) Comparada à fibra de vidro, a produção de fibras naturais causam impactos ambientais de menor gravidade. Isso porque o cultivo das fibras naturais depende principalmente da energia solar e sua produção e extração despendem de pequenas quantidades de energia proveniente de combustíveis fósseis. Por outro lado, a produção de vidro e a produção de fibra de vidro necessitam de energia intensiva, dependendo principalmente de combustíveis fósseis.⁽⁴⁾

Entre as diversas aplicações de fibras naturais estão a produção de artigos têxteis e decorativos, até aplicações mais complexas como reforço em materiais compósitos e em aplicações automotivas. No entanto, há algumas desvantagens na utilização dessas fibras como reforço em materiais compósitos, como: a qualidade e eficiência da produção, que depende das condições naturais; a heterogeneidade de suas propriedades que podem ser associadas à produção, extração e condições de processamento das fibras; e seu comportamento hidrofílico que leva a absorção de água nos compósitos.⁽⁵⁾

Defoirdt et al.⁽¹⁾ estudaram a resistência à tração das fibras de coco, bambu e juta. As fibras foram testadas em uma mini máquina de ensaios de tração e compressão, a uma taxa de deslocamento de 0,1 mm/min, 1 mm/min e 5 mm/min para juta, bambu e coco respectivamente. Os testes foram realizados em diversos comprimentos a fim de se avaliar a influência do comprimento na resistência à tração. O diâmetro ou área da seção transversal foram calculados através da determinação da massa e comprimento de cada fibra, a partir da densidade média obtida no picnômetro a gás. Com o picnômetro pode-se determinar a densidade real da fibra pois o gás penetra em todos os poros, enquanto que na microscopia as medidas do diâmetro incluem todos os poros ou a densidade aparente. Os autores apresentam uma comparação entre a distribuição normal e a de Weibull para os valores de tensão média e desvio padrão e observaram que os resultados foram muito próximos para ambas distribuições. Como os parâmetros de Weibull variaram conforme o comprimento testado, os autores consideraram a distribuição de Weibull questionável para estudar a resistência de fibras.

Tomczak, Satyanarayana e Sydenstricker⁽⁶⁾ correlacionaram propriedades mecânicas de fibras de curauá com diâmetro, comprimento e taxa de deformação. Os ensaios foram realizados em uma máquina de ensaios modelo Instron, 4467 com uma célula de carga de 100N, e utilização de garras pneumáticas. A caracterização morfológica foi feita através de microscopia eletrônica de varredura. Foram utilizadas fibras de diferentes diâmetros (26 µm - 64 µm), comprimento de 20 mm e taxa de

deformação de 5 mm/min para avaliar comportamento da resistência à tração. Fibras de diâmetro médio de 46 μm foram testadas em diferentes comprimentos (5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm e 25 mm) a uma taxa de deformação de 5 mm/min. Além disso, fibras de mesmo diâmetro (46 μm) e mesmo comprimento (20 mm) foram submetidas a diferentes taxas de deformação (5 mm/min, 10 mm/min, 20 mm/min e 50 mm/min). Comprovaram que a resistência à tração e o módulo de elasticidade decresceram enquanto a deformação permaneceu constante à medida que o diâmetro aumentou. Com o aumento do comprimento, a resistência à tração e a deformação diminuíram e o módulo aumentou. Quando houve aumento na taxa de deformação, os valores de resistência à tração aumentaram, porém o módulo e a deformação não sofreram alterações.

D'Almeida, Aquino e Monteiro⁽⁷⁾ apresentam resultados de ensaios mecânicos, composição química e aspectos morfológicos da fibra de piaçava e correlacionam com a fibra de coco. Como não é possível fixar extensômetros às fibras, foi feita correção da flexibilidade da máquina, para corrigir o módulo de elasticidade da fibra. Para essa correção comprimentos de 150 mm, 120 mm, 80 mm, 50 mm, 25 mm e 15 mm foram utilizados. O coeficiente de correlação obtido foi 0,973. Os testes foram realizados em máquina de 10 kN de capacidade e utilizadas garras pneumáticas. Foram realizados 15 testes para cada comprimento, a uma taxa de 1 mm/min. A caracterização morfológica das fibras foi feita através de microscopia eletrônica de varredura. A fibra de piaçava apresentou baixos valores de resistência à tração e módulo de elasticidade comparada a fibras mais comuns como sisal e juta, porém suas propriedades mecânicas são comparáveis à fibra de coco. Os autores relatam ainda que, apesar dessa fibra possuir baixa resistência à tração, estudos preliminares mostram que sua utilização como reforço em compósitos de matrizes de poliéster é promissor, pois comparada às fibras de juta, coco e banana, o compósito com fibra de piaçava apresentou valores de tensão de ruptura na flexão semelhantes.

Silva, Chawla e Toledo Filho⁽⁸⁾ avaliaram o comportamento mecânico de fibras de sisal. Os ensaios foram realizados numa máquina modelo Tytron 250, sistema de micro força. Foram utilizados diferentes comprimentos (10 mm, 20 mm, 30 mm e 40 mm), a fim de se avaliar a variabilidade na resistência da fibra, através da distribuição de Weibull. Foram realizados 15 ensaios para cada comprimento, a uma taxa de deslocamento de 0,1 mm/min. Para correção do módulo de elasticidade foi feito cálculo da flexibilidade da máquina. Analisaram ainda o modo de fratura da fibra em termos de microestrutura e defeitos presentes nas fibras, através de imagens obtidas no MEV. Observaram que o módulo de Weibull diminuiu à medida que o comprimento aumentou e, portanto, a variabilidade nos valores de resistência foi maior à medida que aumentou o comprimento.

O presente trabalho apresenta e discute os resultados de testes de tração nas fibras de sisal, juta, curauá, piaçava e coco, e correlaciona esses resultados com a morfologia das fibras. Análise estatística de Weibull foi utilizada para quantificar o grau de variabilidade da resistência das fibras.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Nesse trabalho foram utilizados cinco tipos de fibras vegetais: sisal, curauá, piaçava, juta e coco. Tais fibras foram obtidas de determinadas regiões do Brasil. A fibra de juta provém da região Amazônica. É extraída entre a casca e o talo interno da planta *Corchorus capsularis*, por uma combinação de processos que consiste nas

seguintes etapas: corte, maceração, desfibramento, secagem, enfardamento e classificação.

A fibra de sisal foi fornecida pela Associação de Desenvolvimento Sustentável e Solidário da Região Sisaleira (Apaeb), do município de Valente, Bahia. A fibra foi extraída da folha da planta *Agave sisalana* pelo processo mecânico chamado decorticação. Nesse processo, as folhas são esmagadas por um rolo em movimento coberto de facas, onde somente as fibras prevalecem. As fibras decorticadas foram postas ao sol para secar. Uma secagem apropriada é essencial já que a qualidade da fibra depende do teor de umidade reduzido. As fibras secas foram penteadas por uma máquina e classificadas em diversos graus, em grande parte com base na separação das folhas em grupos de tamanhos diferentes.⁽⁸⁾

A fibra de curauá foi fornecida pela empresa Pematec (Santarém, Pará). A fibra, produzida na região Amazônica, foi extraída da folha da planta *Ananas Erectifolius*, pelo processo semelhante ao utilizado no sisal.

A fibra de piaçava é da região de Ilhéus, Bahia. Foi extraída do talo das folhas da planta *Attalea funifera*, mais especificamente do pecíolo das folhas, não sendo necessário cortá-las. O processo utilizado para a extração da fibra foi manual, a partir de nervuras. As hastes são cortadas com facões para se obter as fibras, que são então lavadas, escovadas e classificadas de acordo com o comprimento. As fibras de melhor valor comercial são as mais longas e mais flexíveis, sendo exportadas para outros países, enquanto as mais curtas e rígidas são utilizadas para fabricação de vassouras.

A fibra de coco foi fornecida pela Cooperativa de beneficiamento da casca do coco verde (Coobcoco), de Fortaleza, Ceará. A fibra de coco é uma fibra de superfície, pois é retirada da casca do coco. O processo de extração da fibra é tradicionalmente feito por maceração e alguns procedimentos de decorticação.

As fibras vegetais, em geral, possuem uma morfologia similar composta por inúmeras fibrocélulas. Essas fibrocélulas são formadas pelas paredes celulares primária, secundária, terciária e os lumens. Cada fibrocélula é unida pela lamela média (LM), que consiste de lignina e hemicelulose, como mostra a Figura 1.⁽⁸⁾ A diferença nos diversos tipos de fibra está no número de fibrocélulas, no tamanho das paredes celulares, na área total da fibra e na área real (diminuindo-se a área total dos lumens). Por isso, conseqüentemente, as fibras possuem características físicas e mecânicas diferentes.

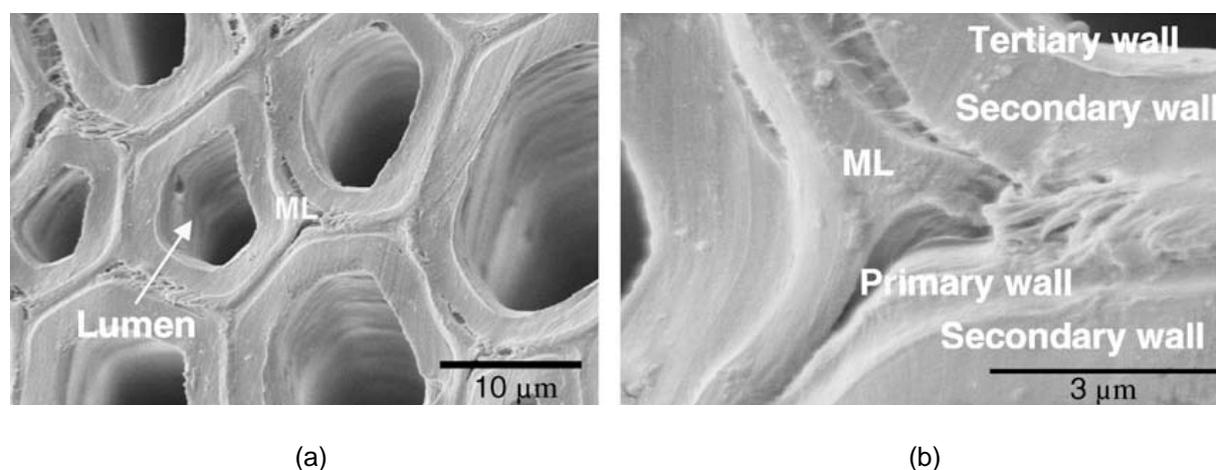


Figura 1 – Microestrutura da fibra de sisal (a) Fibrocélulas com lúmen e lamela média e (b) Detalhe da lamela média e paredes celulares.⁽⁸⁾

2.1 Teste de Tração

As fibras foram testadas nas condições em que foram recebidas. Foram utilizados na preparação dos corpos-de-prova: papel 90g/m², fita crepe e fita metálica de alumínio. A preparação do corpo de prova foi feita conforme a norma ASTM C1557,⁽⁹⁾ como ilustra a Figura 2.

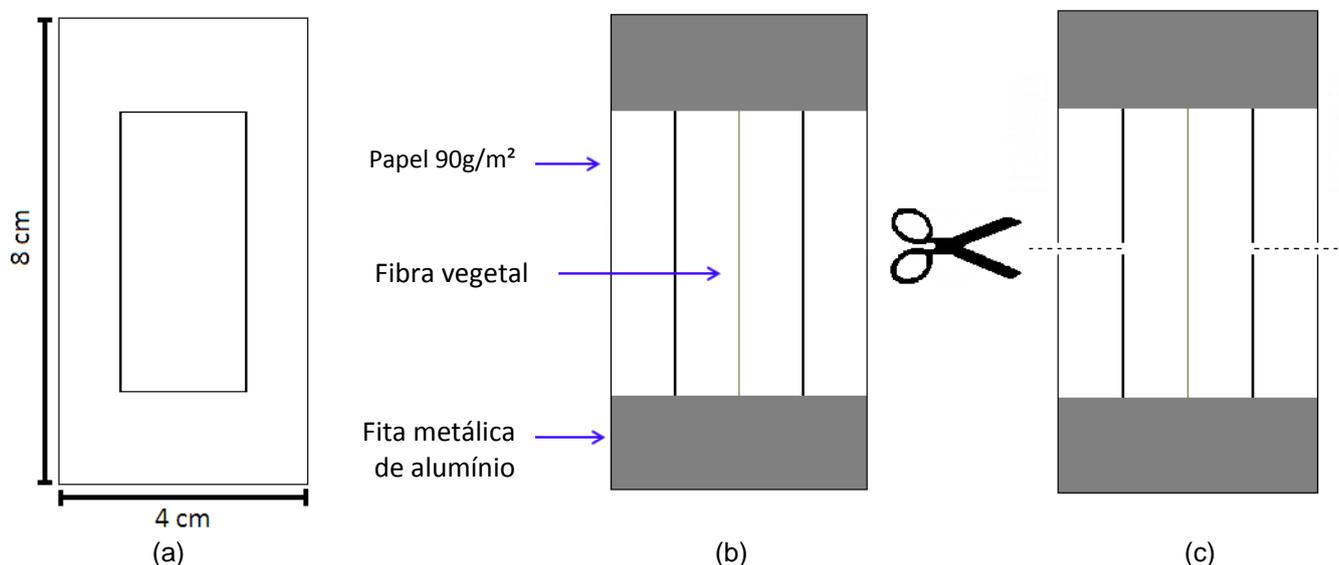


Figura 2 – Montagem do corpo-de-prova: (a) Molde de papel para fixação das fibras; (b) Preparação do corpo-de-prova para o ensaio e (c) Detalhe corte do papel antes do ensaio.

Os testes de tração foram realizados em uma máquina de ensaios universais modelo Shimadzu AGX 100kN, como ilustra a Figura 3. Os ensaios de tração foram conduzidos por controle do deslocamento a uma taxa de 0,2 mm/min. Para cada tipo de fibra foram realizados 15 testes. As fibras foram selecionadas para investigar sua morfologia e posteriormente comparar com os resultados dos ensaios de resistência à tração.

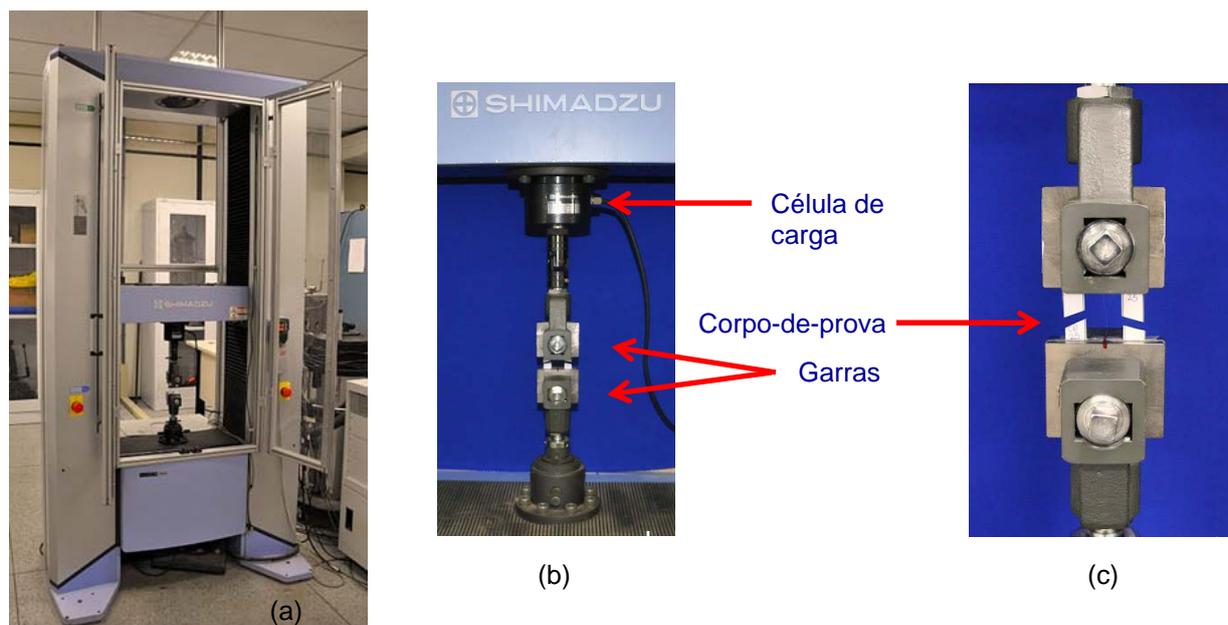


Figura 3 – Arranjo do ensaio de tração conforme ASTM C1557: (a) Máquina de ensaios universais; (b) Detalhe das garras e (c) Corpo-de-prova.

A flexibilidade da máquina foi obtida através da curva deslocamento/força versus comprimento, conforme metodologia proposta por Silva, Chawla e Toledo Filho⁽⁸⁾ e Chawla, Kerr e Chawla.⁽¹⁰⁾ O deslocamento total do sistema, durante a realização do teste de tração na fibra, δ_t , é dado por:

$$\frac{\delta_t}{F} = \left[\frac{1}{EA} \right] l + c \quad (1)$$

Sendo c a flexibilidade da máquina, F a força aplicada, E o módulo de elasticidade da fibra e A a área da seção transversal da fibra. Através dos pontos δ_t/F versus comprimento (l), obteve-se uma reta com inclinação $1/EA$, sendo c o ponto que intercepta o eixo vertical.

Para o cálculo de c foram utilizadas apenas as fibras de juta, comprimentos de 10 a 30 mm, como apresentado na Figura 4a. A Figura 4b mostra a curva da fibra de juta com e sem correção.

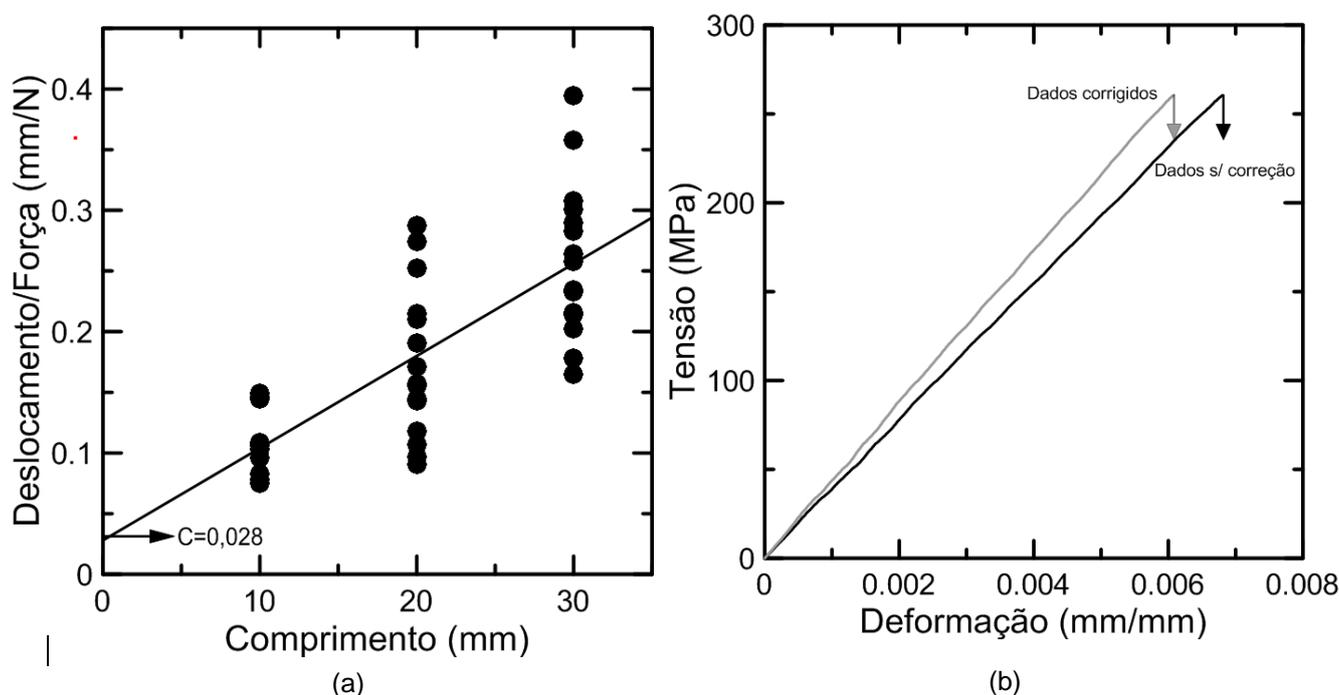


Figura 4 – (a) Cálculo da flexibilidade da máquina (c) e (b) Resultado do ensaio de tração da fibra de juta mostrando a diferença entre dados com e sem correção.

2.2 Análise Microestrutural

Para análise microestrutural foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura (MEV) FEI Quanta 400. As fibras foram previamente recobertas com aproximadamente 20 nm de prata para se tornarem condutoras e mais adequadas à análise ao MEV. O MEV foi operado sob uma tensão de aceleração de 25 kV e uma distância de trabalho de aproximadamente 30 mm

Posteriormente, com as imagens obtidas, foi feita a análise e medição da área transversal de cada fibra no software Image J. Foi desenhada uma linha de contorno na seção transversal da fibra para obtenção da área, como ilustrado na Figura 5. Com o valor da área foi possível calcular a tensão suportada por cada fibra.

Foi calculado o módulo de elasticidade para as diferentes fibras a partir dos gráficos de tensão e deformação, conforme apresentado na seção de resultados.

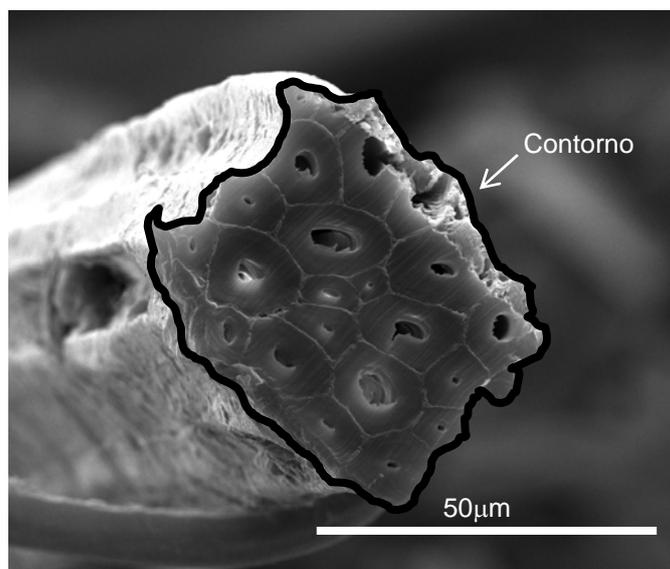


Figura 5 – Cálculo da área utilizando o ImageJ da fibra de curauá.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados dos Testes de Tração

A Tabela 1 apresenta os resultados encontrados para a fibra de juta, em diferentes comprimentos. São valores médios de 15 amostras selecionadas por comprimento. Os valores de módulo de elasticidade não apresentaram variação significativa. A variabilidade no módulo está provavelmente relacionada à variabilidade na microestrutura das fibras de juta e possíveis danos ocorridos durante o processo de extração.⁽⁸⁾ Assim como observado para o módulo de elasticidade a resistência a tração e a capacidade de deformação parecem não ser função do comprimento.

Tabela 1 – Resultados ensaio de tração para a fibra de juta em diferentes comprimentos

Juta	Resistência à tração(Mpa)	Módulo de Young (Gpa)	Deformação (%)	Módulo de Weibull	Área (mm ²)
20 mm	314 ± 131	35,2 ± 15,1	0,9 ± 0,3	2,09	0,004 ± 0,003
30 mm	263 ± 65	37,7 ± 9,2	0,7 ± 0,2	3,78	0,003 ± 0,001
40 mm	249 ± 89	43,9 ± 12,3	0,6 ± 0,2	2,74	0,004 ± 0,001
50 mm	308 ± 130	48,4 ± 13,3	0,7 ± 0,2	2,27	0,003 ± 0,001
60 mm	258 ± 120	41,3 ± 12,9	0,6 ± 0,2	2,33	0,003 ± 0,001

Os resultados de todas as fibras são apresentados na Tabela 2. Foram selecionadas 15 amostras de 40 mm de comprimento para cada fibra. Como pode ser observado nas Figuras 6 (a) e 6 (b) e na Tabela 2, as fibras de piaçava e de coco apresentaram grande capacidade de deformação, porém baixa resistência à tração, enquanto as fibras de curauá, sisal e juta apresentaram comportamento oposto. A fibra de curauá apresenta maior módulo de elasticidade, seguido da juta e sisal.

Tabela 2 – Resultados do ensaio de tração para as fibras de curauá, juta, coco, piaçava e sisal

Fibras (40 mm)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Deformação (%)	Módulo de Weibull	Área (mm ²)
Curauá	543 ± 260	63,7 ± 32,5	1 ± 0,2	2,22	0,004 ± 0,002
Juta	249 ± 89	43,9 ± 12,3	0,6 ± 0,2	2,74	0,004 ± 0,001
Coco	90 ± 35	2,6 ± 0,7	18,8 ± 9,1	2,74	0,052 ± 0,030
Piaçava	131 ± 36	3,8 ± 0,9	49,8 ± 149,8	3,68	0,585 ± 0,279
Sisal	484 ± 135	19,5 ± 4,5	3,3 ± 1,6	3,70	0,023 ± 0,007

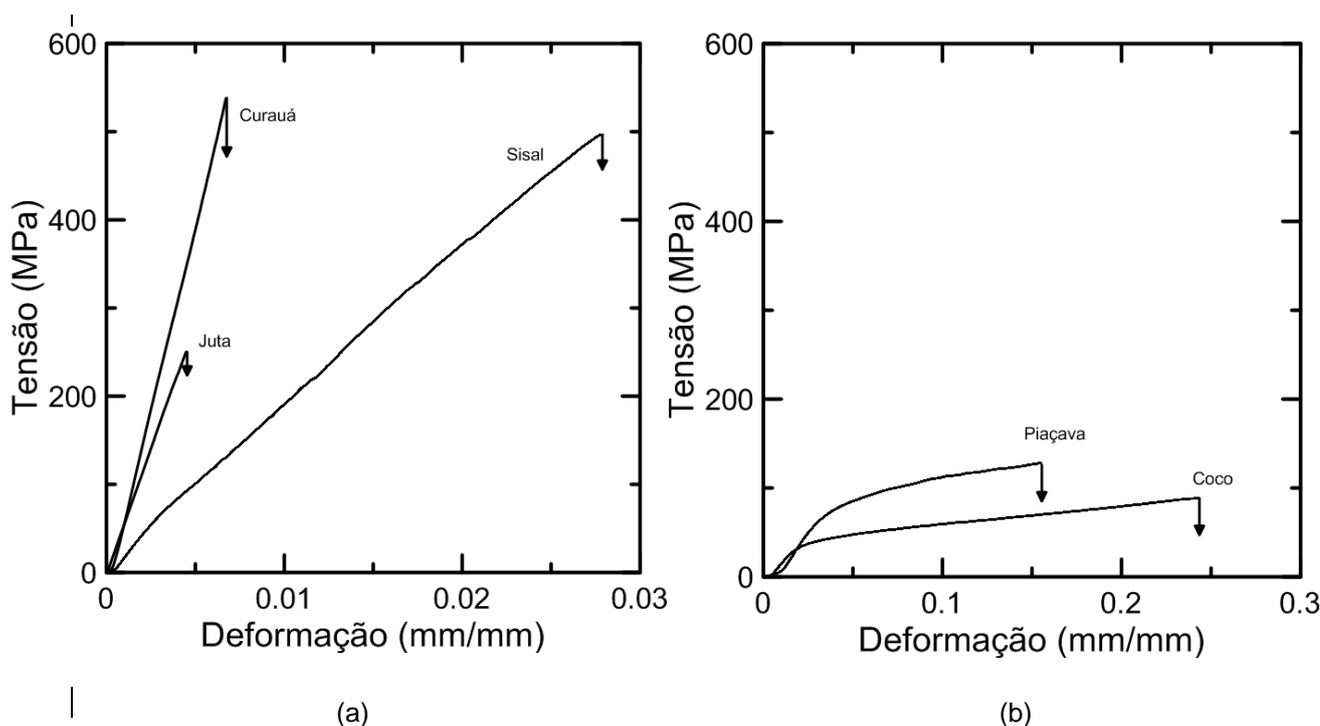


Figura 6 – Curvas típicas Tensão versus Deformação para as fibras de: (a) Curauá, sisal e juta e (b) Piaçava e coco.

3.2 Análise Estatística de Weibull

A aplicação da distribuição de Weibull na resistência à tração de fibras é descrita por diversos autores.^(1,8,10,11) Nesse trabalho, foi utilizada a forma apresentada por Silva, Chawla e Toledo Filho.⁽⁸⁾ Conforme a distribuição de Weibull, a probabilidade de sobrevivência de uma fibra é dada por:

$$P(\sigma) = \exp \left[- \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^m \right] \quad (2)$$

Onde σ é a resistência da fibra para uma dada probabilidade de sobrevivência, m é o módulo de Weibull e σ_0 é definida como a resistência característica, correspondente à probabilidade de sobrevivência de 37% ($\sigma = \sigma_0 \rightarrow P(\sigma) = 1/e = 0,37$). Quanto maior o valor de m , menor a variabilidade na resistência. O *ranking* dos valores de resistência é encontrado utilizando-se como estimador:

$$P(\sigma)_i = 1 - \frac{i}{N + 1} \quad (3)$$

Seendo $P(\sigma)$ a probabilidade de sobrevivência correspondente ao valor de resistência i , N o número total de fibras testadas. Substituindo-se (3) em (2), tem-se:

$$\ln \ln \left[\frac{N+1}{N+1-i} \right] = m \ln \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right) \quad (4)$$

A linha reta encontrada através dos pontos $\ln \ln [(N+1)/(N+1-i)]$ versus $\ln \sigma/\sigma_0$ tem inclinação m .

A Figura 6a apresenta a variação do módulo de Weibull “ m ” para as fibras de juta em vários comprimentos, e a figura 7b os valores de “ m ” para todas as fibras estudadas no presente trabalho. A Tabela 1 apresenta os valores do módulo de Weibull (m) calculado. Através das Figuras e Tabelas pode-se dizer que, para os diferentes comprimentos de juta, houve uma oscilação nos valores de m , não sendo possível perceber a variabilidade nos valores de resistência. Observando-se a Tabela 1 e a Figura 7b, pode-se observar que as fibras de juta e coco têm mesmos valores de m , enquanto as fibras de piaçava e sisal apresentam valores muito próximos. O módulo de Weibull é uma medida de variabilidade na resistência das fibras. Um valor alto de m significa baixa variabilidade na resistência. Assim, pode-se dizer que a fibra de curauá tem grande variabilidade na resistência e as de piaçava e sisal baixa variabilidade.

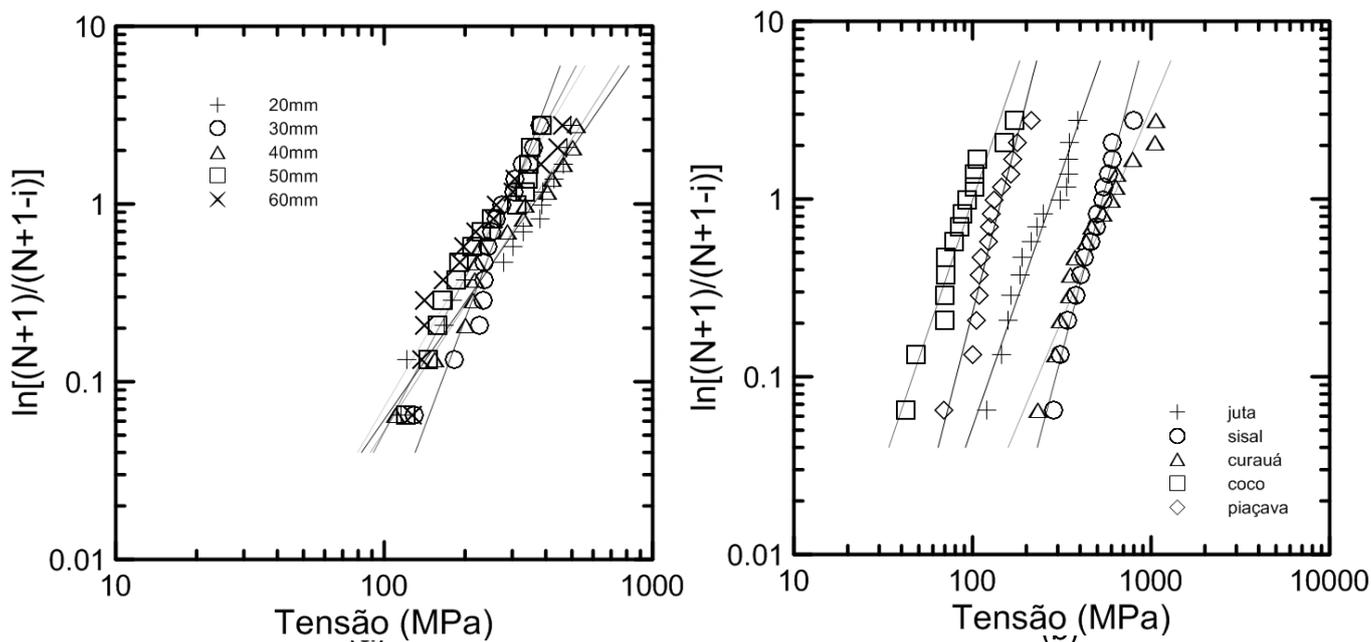


Figura 7 – (a) Distribuição de Weibull para a fibra de juta em diferentes comprimentos e (b) Distribuição de Weibull para todas as fibras estudadas.

3.3 Comparação das Fibras quanto à Morfologia

Apesar de apresentarem uma morfologia padrão, as fibras naturais se diferenciam uma das outras por aspectos como a área transversal total e real (subtraída a área dos lumens), o número de fibrocélulas e o tamanho de suas paredes celulares. A Figura 8 mostra a microestrutura das fibras estudadas. Observando as morfologias

típicas de cada fibra, pôde-se compará-las com os resultados dos ensaios mecânicos.

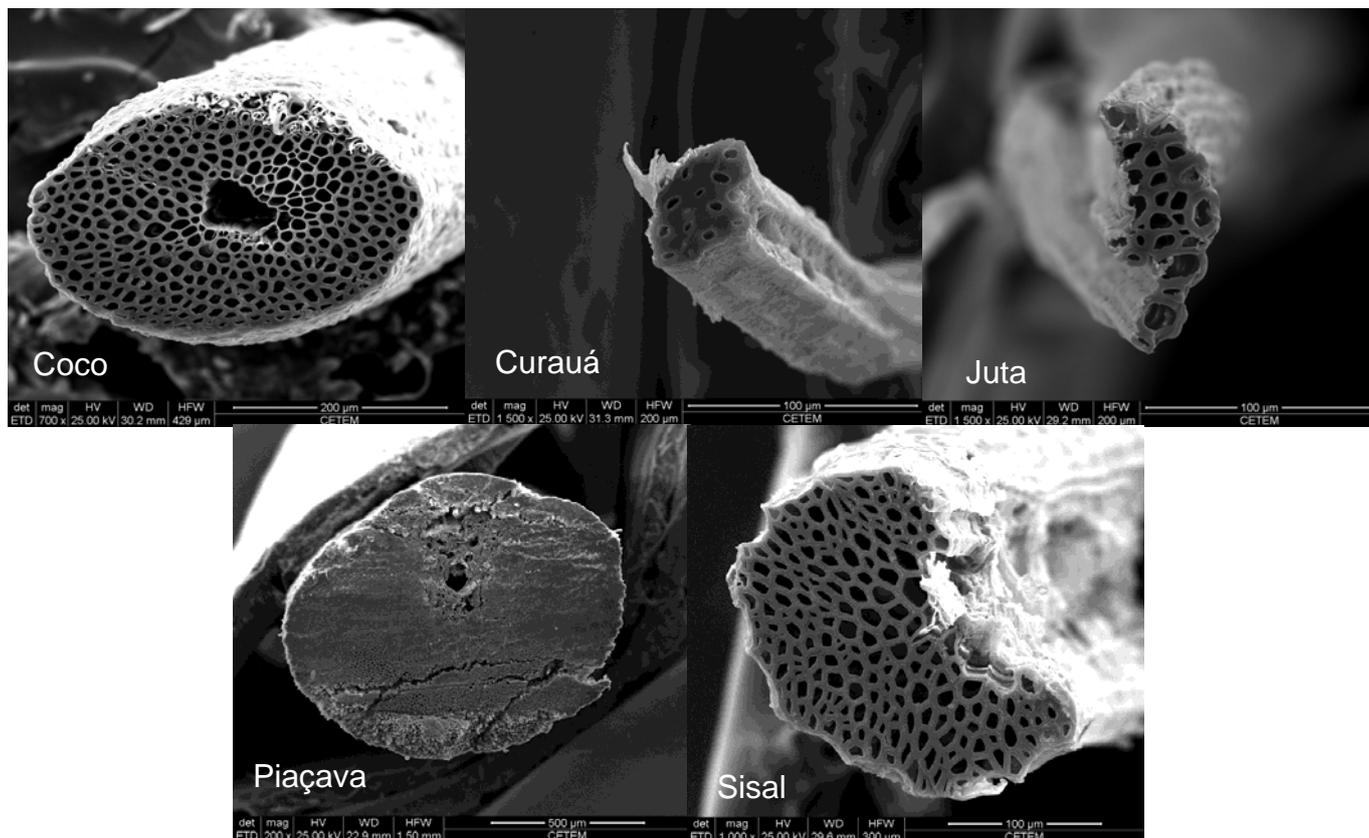


Figura 8 – Micrografias das fibras de juta, coco, curauá, piaçava e sisal obtidas através de observação no MEV.

A fibra de curauá e a fibra de juta possuem menor área total, conforme Tabela 3. A fibra de curauá é composta por poucas fibrocélulas e suas paredes celulares são maiores quando comparada com as demais.

Comparativamente às fibras de curauá e de juta, a fibra de sisal possui área total maior e é composta por um número maior de lumens. Suas paredes celulares são menos espessas do que as do curauá. O sisal possui a segunda maior resistência à tração, conforme Tabela 2 e Figuras 8 e 9.

Quanto menor a área de lumens e mais espessa a parede celular, menor a área real e, portanto maior a resistência. A fibra de curauá apresentou esse comportamento padrão. As fibras de juta e sisal apresentaram mesma espessura de parede celular, porém a de fibra de juta, apesar de possuir menor área obteve resistência à tração menor que a do sisal (Figura 9). Isso mostra que não só a morfologia influencia nos resultados de ensaios de tração, mas também a composição química. A celulose é o principal constituinte da fibra responsável pela resistência. A fibra de sisal possui teor de celulose de aproximadamente 73%⁽¹²⁾ e a de juta 65%.⁽¹³⁾ Por isso a de sisal apresenta resistência maior, pois apresenta maior teor de celulose, mesmo apresentando maior área que a fibra de juta.

Tabela 3 – Área e diâmetro de lumens, quantidade e espessura de fibrocélulas

Fibras	Área lumens (μm^2)	Espessura da parede fibrocelular (μm)	Diâmetro dos lumens (μm)	Quantidade de fibrocélulas	Área Real (mm^2)	Área Total (mm^2)
Curauá	162,2	3,5	4,0	12	0,003838	0,004
Juta	1014,1	2,5	6,7	26	0,002986	0,004
Sisal	5796,9	2,6	8,2	144	0,017203	0,023

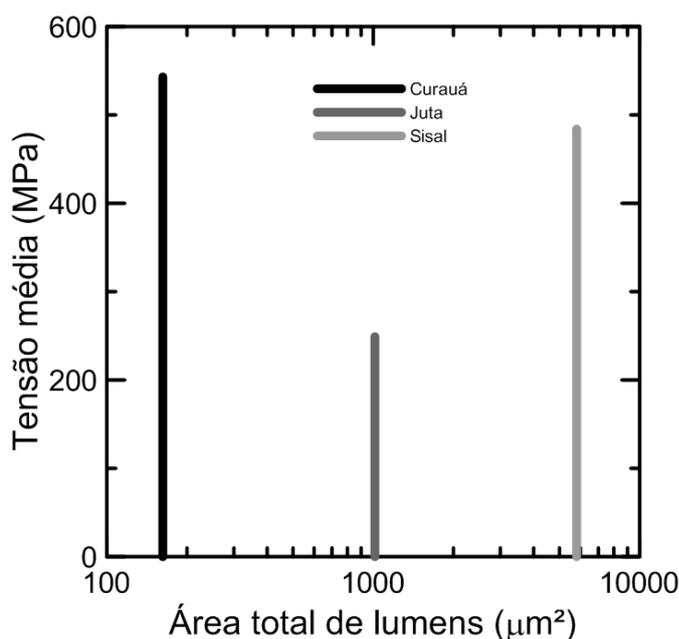


Figura 9 – Influência da área total de lumens na resistência a tração das fibras de curauá, juta e sisal.

As fibras de coco e piaçava possuem as maiores áreas totais. Essas fibras apresentam um grande número de fibrocélulas e suas paredes celulares são as mais finas quando comparadas às do sisal, juta e curauá. Essas observações foram feitas a partir de imagens obtidas no MEV. Porém, tais imagens não puderam ser analisadas pelo software Image J para o cálculo da área dos lumens, espessura da parede fibrocelular, diâmetro dos lumens e quantidade de fibrocélulas. Essas fibras, além de muito espessas, apresentam grande rigidez. Por isso, os cortes transversais foram prejudicados, e conseqüentemente as imagens obtidas não foram adequadas. A Figura 10 (a) ilustra o padrão de comportamento das fibras: para um dado comprimento, quanto menor a área, maior a tensão suportada. A fibra de juta, comparada ao sisal, não seguiu essa tendência, mas como pode ser observado na Figura 10 (a), para um dado comprimento e para mesma fibra esse comportamento ocorre. A Figura 10 (b) apresenta os resultados de área média versus tensão para todas as fibras estudadas. Além da fibra de juta, a fibra de coco também não segue o mesmo comportamento das fibras de curauá, sisal e piaçava. Com isso, como dito anteriormente, pôde-se verificar que não somente a morfologia, mas também a composição química das fibras influencia nos resultados de resistência à tração.

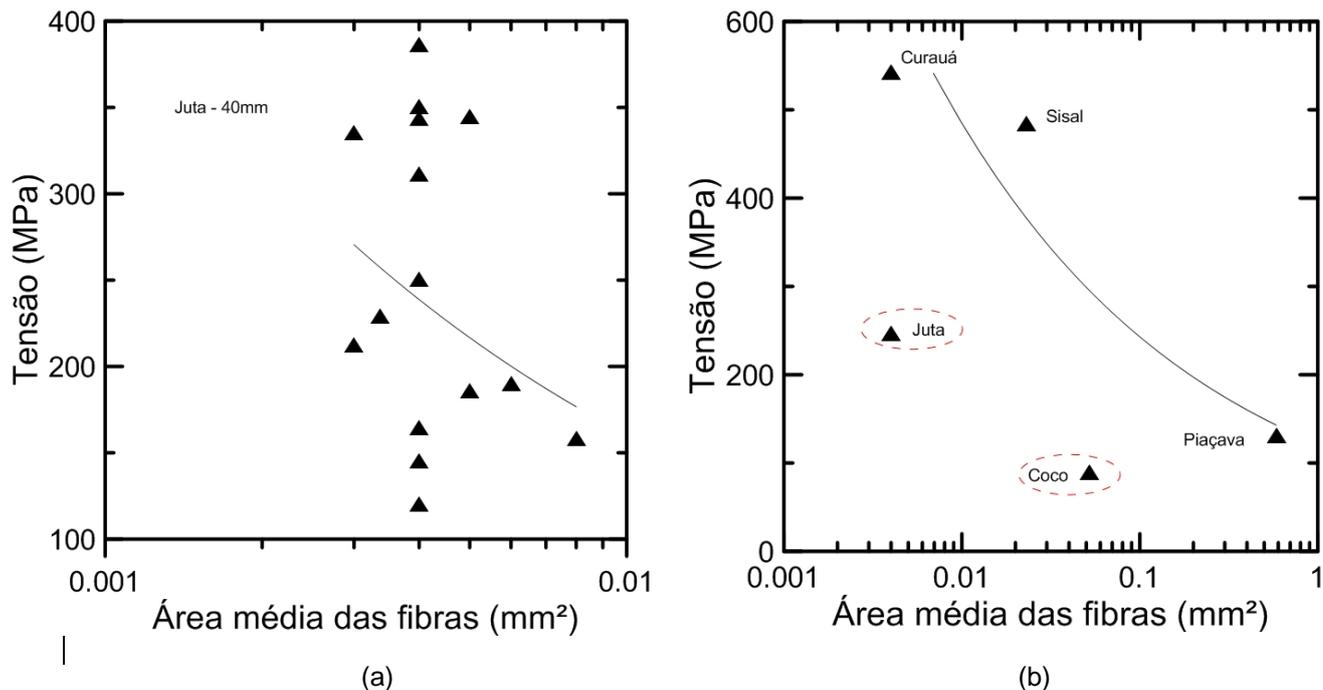


Figura 10 – Influência da área na resistência à tração das fibras: (a) fibras de Juta com 40mm (b) todas as fibras estudadas.

4 CONCLUSÃO

Os ensaios mecânicos de fibras naturais não são triviais. Cada tipo de fibra possui uma morfologia característica. Portanto, deve ser considerada a seção transversal irregular das fibras estudadas para assim compará-las com os resultados dos ensaios mecânicos de resistência à tração.

A fibra que apresentou maior área transversal foi a piaçava, seguida do coco, porém a que apresentou maior resistência foi o curauá. A fibra com maior módulo de elasticidade foi o curauá, seguida da juta.

As fibras que apresentaram maiores resultados de resistência à tração, curauá, sisal e juta, tiveram sua morfologia analisada quanto ao número de lumens, tamanho da parede celular e área real (área total menos área dos lumens). Com isso, conclui-se que quanto menor o número de lumens e mais espessa a parede fibrocelular, maior será a tensão suportada pela fibra. E quanto maior o número de lumens, menor é a rigidez da fibra. Com isso, ela se deforma mais.

As fibras de sisal e juta possuem mesma espessura de parede celular. A fibra de juta, apesar de possuir área real menor que a do sisal, suporta uma tensão menor. Observou-se então que não apenas a morfologia da fibra influencia na resistência à tração, mas também sua composição química. A fibra de sisal possui maior teor de celulose, principal constituinte responsável pela resistência, que a fibra de juta e, portanto, maior resistência à tração.

Quanto à análise estatística de Weibull, utilizada para a fibra de juta em diferentes comprimentos e para comparação das fibras, pode-se dizer que, para a fibra de juta: os valores de m apresentaram oscilação, portanto não foi possível medir uma variabilidade nos valores de m para os diferentes comprimentos estudados. Quanto à comparação entre fibras, pôde-se observar que as fibras de juta e coco têm mesmos valores de m , enquanto as fibras de piaçava e sisal apresentam valores

muito próximos. Assim, pode-se dizer que a fibra de curauá tem grande variabilidade nos valores de resistência à tração e as de piaçava e sisal baixa variabilidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro de Tecnologia Mineral, pela disponibilidade do microscópio eletrônico de varredura e ao CNPq, pelo suporte financeiro para desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 DEFOIRDT, N., BISWAS, S., VRIESE, L., TRAN, L.Q.N., ACKER, J.V., AHSAN, Q., GORBATIKH, L. VUURE, A.V., VERPOEST, I. Assessment of the tensile properties of coir, bamboo and jute fibre. *Composites: Part A*, v. 41, p. 588–595, 2010.
- 2 ALVES, C., Ferrão, P.M.C., SILVA, A.J., REIS, L.G., FREITAS, M., RODRIGUES, L.B., ALVES, D.E. Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, p. 313–327, 2010.
- 3 PEIJS, T. Composites turn green. *e-Polymers*, p. 1–12, n. T_002, 2002.
- 4 JOSHIA, S.V., DRZALB, L.T., MOHANTYB, A.K., ARORAC, S. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? *Composites: Part A*, v. 35, p. 371–376, 2004.
- 5 TOMCZAK, F. Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, 2010.
- 6 TOMCZAK, F., SATYANARAYANA, G., SYDENSTRICKER, T.H.D. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil: Part III – Morphology and properties of Brazilian curauá fibers. *Composites: Part A*, v. 38, p. 2227–2236, 2007.
- 7 d'ALMEIDA, J.R.M., AQUINO, R.C.M.P., MONTEIRO, S.N., 2006, “Tensile mechanical properties morphological aspects and chemical characterization of piassava (*Attalea funifera*) fibers”, *Composites: Part A*, v. 37, pp. 1473–1479.
- 8 SILVA, F.A., CHAWLA, N., TOLEDO FILHO, R.D. Tensile behavior of high performance (sisal) fibers. *Composites Science and Technology*, v. 68, p. 3438-3443, 2008.
- 9 ASTM, 2008. ASTM C1557, Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- 10 CHAWLA, N., KERR, M., CHAWLA, K.K. Monotonic and cyclic fatigue behavior of high-performance ceramic fibers. *Journal of the American Ceramic Society*, v. 88, p. 101–108, 2005.
- 11 TRIPATHY, S.S., LANDRO, L.D., FONTANELLI, D., MARCHETTI, A., LEVITA, G. Mechanical properties of jute fibers and interfacial strength with an epoxy resin. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 75, p. 1585–1596, 2000.
- 12 SYDENSTRICKER, T.H.D., MOCHNAZ, S., AMICO, S.C. Pull-out and other evaluations in sisal-reinforced polyester biocomposites. *Polymer Testing*, v.22, p. 375-380, 2003.
- 13 WANG, W., CAI, Z., YU, J. Study on the Chemical Modification Process of Jute Fiber. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, v. 3, 2008.