

Universidade de São Paulo
Escola de Artes, Ciências e Humanidades
Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda

Bárbara Maria Gama Guimarães

**Estudo das características físico-químicas de
fibras têxteis vegetais de espécies de Malvaceae**

**São Paulo
2014**

BÁRBARA MARIA GAMA GUIMARÃES

**Estudo das características físico-químicas de
fibras têxteis vegetais de espécies de Malvaceae**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola de Artes,
Ciências e Humanidades da Universidade de
São Paulo para a obtenção de título de Mestre
em Ciências, do Programa de Pós-Graduação
em Têxtil e Moda.

Área de concentração: Materiais e Processos
Têxteis.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Júlia Baruque Ramos

**São Paulo
2014**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

Biblioteca

Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo

Guimarães, Bárbara Maria Gama

Estudo das características físico-químicas de fibras têxteis vegetais de espécies de *Malvaceae* / Bárbara Maria Gama Guimarães ; orientadora, Júlia Baruque Ramos. – São Paulo, 2014.

167 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, em 2014.

Versão corrigida.

1. Fibras têxteis. 2. Fibras vegetais – Propriedades físico-químicas. 3. Fibras vegetais- Análise físico-química. 4. Indústria têxtil. 5. Fibras naturais. 6. *Malvaceae*. I. Ramos, Júlia Baruque, orient. II. Título.

CDD 22.ed. – 677.02862

Nome: GUIMARÃES, Bárbara Maria Gama

Título: Estudo das características físico-químicas de fibras têxteis vegetais de espécies de Malvaceae

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para a obtenção de título de Mestre em Ciências, do Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda.

Área de concentração: Materiais e Processos Têxteis.

Orientadora: Prof.^a Dr^a Júlia Baruque Ramos

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Márcio e Francinete, ao meu amor e companheiro de todas as horas Marcos Lavorato, e aos meus irmãos Pamela e Eduardo Guimarães.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que me auxiliaram de na execução deste trabalho. Primeiramente agradeço a minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Júlia Baruque Ramos, por toda a dedicação, paciência e companheirismo desde a época de minha graduação. Seu exemplo foi fundamental em minha escolha pela pesquisa científica.

Agradeço ao meu amigo Welton Fernando Zonatti por todo o apoio que nos demos mutuamente nos trabalhos desenvolvidos ao longo destes anos e também pela amizade construída. Também à colega Flávia Maciel Ribeiro Costa, pelo companheirismo nas atividades laboratoriais e auxílio prestado.

O meu muito obrigada também a todo o corpo docente da EACH – USP, em especial ao Professor Waldir Mantovani, que auxiliou na obtenção e fichamento das espécies estudadas neste projeto, e a Prof^a. Dr^a. Regina Aparecida Sanches por me incentivar a realizar minha primeira iniciação científica. Agradeço à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo suporte financeiro concedido, representado pela Bolsa de Mestrado e BEPE - Bolsa Estágio de Pesquisa no Exterior. À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo auxílio financeiro no início das atividades do mestrado.

Agradeço também ao corpo docente da UPC – Universidade Politécnica da Catalunya (Terrassa, Espanha), por me receberem em seus laboratórios, sobretudo ao Professor Martí Crespi Rosell e a Prof^a. Diana Cayuela Marín pela orientação. Meus agradecimentos ao Professor Raul Manuel Esteves de Sousa Figueiro, ao especialista Joaquim Jorge Gomes Peixoto e aos colegas Cátia Relvas e Fernando Cunha da UMINHO - Universidade do Minho (Portugal), por também me receberem em seus laboratórios e me auxiliarem durante a execução dos ensaios de DSC e TGA.

Por fim, minha gratidão à base de minha formação e de todas as conquistas que tive até hoje: a minha família de sangue e de coração. Meus pais pela educação e incentivo a nunca desistir dos meus objetivos, a minha irmã por ser um exemplo a ser seguido, ao meu marido por entender e me auxiliar com amor em todos os momentos de dificuldade, à Maria Carolina Peralta por sua amizade e por me ajudar a seguir com os estudos universitários e a Prof^a. Mirian Rocha, por me ensinar as primeiras palavras.

*“Lembre-se que as pessoas
podem tirar tudo de você, menos
o seu conhecimento”*

Albert Einstein

RESUMO

GUIMARÃES, B. M. G. **Estudo das características físico-químicas de fibras têxteis vegetais de espécies de Malvaceae**. 2014. 167p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

As fibras vegetais podem ser utilizadas não somente para tecidos, mas também para fabricação de fios, cordames, não tecidos, compósitos em substituição aos fabricados em madeira ou materiais sintéticos, sendo que o Brasil possui uma grande variedade de fibras naturais. O presente estudo teve como principal objetivo a caracterização físico-química de seis fibras têxteis vegetais de espécies da família Malvaceae: *Sida rhombifolia* L.; *Sida carpinifolia* L. f.; *Sida cordifolia* L.; *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell; *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck e *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries. Foram realizados testes físicos tênses (resistência e alongamento); microscopia óptica (sem e com solução de iodo); teores de *regain* e umidade; testes químicos de combustão, determinação do pH do extrato aquoso, efeitos de solvente orgânico, álcali e ácido. Em adição, foram feitos testes de DSC, TGA, SEM, FTIR, microscopia de luz polarizada, grau de polimerização e densidade. Os valores de tenacidade (21-33 cN/tex), alongamento (2-3%) e módulo de Young (10-20 N/tex) são compatíveis com as de fibras naturais de reconhecida empregabilidade têxtil, com exceção de *Sida rhombifolia* L. (12 cN/tex). Os resultados obtidos de microscopias ópticas e SEM, combustão e *regain* (10-18%) são compatíveis com os de outras fibras celulósicas. Os testes de FTIR confirmaram presença de celulose, hemicelulose e lignina, sendo que os testes de DSC e TGA indicaram as temperaturas de picos endotérmicos e composição de hemicelulose (285-337°C; 10-15%), α -celulose (360-365°C; 55-60%) e lignina (420-425°C, 11-27%), valores esses coerentes com os reportados em literatura para outras fibras lignocelulósicas. Em função dessas temperaturas, a possibilidade de emprego das fibras estudadas em compósitos termoplásticos é bastante restrita. No entanto, por não haver alteração significativa de massa após tratamento com solvente orgânico, há indicação que as fibras do presente estudo poderiam ser empregadas em compósitos plásticos termorrígidos.

Palavras-chave: caracterização físico-química; fibras têxteis vegetais; Malvaceae; têxtil; fibras naturais.

ABSTRACT

GUIMARÃES, B. M. G. **Study of physicochemical characteristics of textile vegetal fibers from Malvaceae species.** 2014. 167p. Dissertation (MSc) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2014.

Vegetal fibers can be employed not only for fabrics, but also for the production of yarns, ropes, nonwovens and composites substituting those ones manufactured from wood or synthetic materials whereas Brazil has a great variety of natural fibers. The present study had as main objective the physicochemical characterization of six textile vegetal fibers of species from Malvaceae family: *Sida rhombifolia* L.; *Sida carpinifolia* L. f.; *Sida cordifolia* L.; *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell; *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck and *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries. Tensile physical tests (resistance and elongation); optical microscopy (with and without iodine solution); moisture and *regain* contents; chemical combustion tests; aqueous extract pH; the effects of organic solvent, alkali, acid were carried out. In addition DSC, TGA, SEM, FTIR tests, polarized light microscopy, density and degree of polymerization tests were performed. The values of tenacity (21-33 cN/tex), elongation (2-3%) and Young's modulus (10-20 N/tex) are compatible with those ones from natural fibers of recognized textile employability, exception *Sida rhombifolia* L. (12 cN/tex). The results of optical and SEM microscopies, combustion and regain (10-18 %) are consistent with those of other cellulosic fibers. The FTIR tests confirmed the presence of cellulose, hemicellulose and lignin, whereas DSC and TGA tests showed endothermic peak temperatures and composition values of hemicellulose (285-337°C ; 10-15%) , α -cellulose (360-365°C ; 55-60%) and lignin (420-425°C , 11-27%), which are consistent with those reported in the literature for other lignocellulosic fibers. Taking in account these temperatures, the possibility of employing the studied fibers in thermoplastic composites is very limited. However, because no significant mass change after treatment with organic solvent, there is indication that the fibers of the present study could be employed in thermoset plastic composites.

Keywords: physicochemical characterization; textile vegetal fibers; Malvaceae; textile; natural fibers.

Lista de Tabelas

2. Revisão bibliográfica

Tabela 2.1. Produção anual de algumas fibras comercialmente importantes e sua composição química.....	23
Tabela 2.2. Valores de densidade e propriedades mecânicas de fibras naturais e fibras convencionalmente utilizadas como reforço em compósitos.....	36
Tabela 2.3. Produção Mundial de Têxteis (ton.) em 2009.....	38
Tabela 2.4. Produção Mundial de Vestuário (ton.) em 2009.....	38
Tabela 2.5. Comparativo entre as fibras de Juta e <i>Sida</i>	42

5. Materiais e Métodos

Tabela 5.1. Tabela de valores determinados de viscosidade intrínseca a partir da viscosidade específica.....	81
---	----

6. Resultados e Discussão

Tabela 6.1. Resultados válidos obtidos nos testes com dinamômetro.....	86
Tabela 6.2. Valores de tenacidade, alongamento porcentual e módulo de Young para espécies de reconhecida empregabilidade têxtil.....	88
Tabela 6.3. Valores dos resultados de umidade e <i>regain</i>	90
Tabela 6.4. Padrões de microscopia transversal de acordo com semelhança com microscopias de espécies de empregabilidade têxtil e valores de diâmetro celular representados pelas respectivas médias e desvios-padrão.....	98
Tabela 6.5. Algumas das principais bandas de infravermelho médio encontradas em plantas.....	101
Tabela 6.6. Resultados das análises de TGA+DTG / DSC e pelo método de extração de Lignina Klason modificado.....	106
Tabela 6.7. Densidade das fibras do presente estudo.....	108
Tabela 6.8. Densidade de fibras de reconhecida empregabilidade têxtil.....	108
Tabela 6.9. Grau de polimerização médio das fibras estudadas.....	109
Tabela 6.10. Grau de polimerização médio da celulose em materiais fibrosos.....	110
Tabela 6.11. Características dos odores de combustão.....	111
Tabela 6.12. Teste qualitativo da combustão com avaliação do tipo de combustão.....	111
Tabela 6.13. Valores dos resultados dos ensaios de pH do extrato aquoso.....	112

Lista de Figuras

2. Revisão bibliográfica

Figura 2.1. Fluxo Produtivo do Setor Têxtil.....	22
Figura 2.2 Representação esquemática de uma célula vegetal.....	24
Figura 2.3. Esquema mostrando a disposição das fibrilas de celulose nas diferentes camadas de parede celular, respectivamente S1, S2 e S3.....	26
Figura 2.4. (a) Sumaúma e suas sementes (b) Capulho de algodão.....	27
Figura 2.5. (a) Fibras do cânhamo; (b) Juta.....	28
Figura 2.6. (a) Linho; (b) Rami.....	28
Figura 2.7. <i>Agave sisalana</i> Perrine, planta que dá origem ao sisal.....	29
Figura 2.8. Fibras extraídas do coco.....	30
Figura 2.9. (a) Foto da espécie e (b) prancha de <i>Sida rhombifolia</i>	43
Figura 2.10. (a) Foto da espécie e (b) prancha de <i>Sida carpinifolia</i>	44
Figura 2.11. (a) Foto da espécie e (b) prancha de <i>Sida cordifolia</i>	46
Figura 2.12. (a) <i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Fryxell (b) Exsicata da espécie.....	48
Figura 2.13. (a) Foto da espécie <i>Malvastrum coromandelianum</i> e (b) Exsicata da espécie.....	49
Figura 2.14. (a) Espécie <i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R.E.Fries (b) Exsicata da espécie.....	50
Figura 2.15. Microscopia do Linho.....	53
Figura 2.16. Espectro de infravermelho obtido para as membranas de acetato de celulose de transmitância versus comprimento de onda.....	55
Figura 2.17. Ensaio de IR realizado algodão após branqueamento.....	56
Figura 2.18. Curva de DSC esquemática mostrando o aparecimento de várias características de transições de fase.....	58
Figura 2.19. Ensaio TGA / DSC para nanobastões.....	59

5. Materiais e Métodos

Figura 5.1. (a): Esquema da fibra em cápsula de resina; (b): Esquema do corte transversal.....	67
Figura 5.2. Retângulos de cartolina branca de (7 x 18) mm, vazados.....	68
Figura 5.3. Microscópio Eletrônico Phenom Pro SEM.....	72
Figura 5.4. Peça para encaixe das amostras no microscópio Phenom Pro SEM.....	72

Figura 5.5. Preparação das lâminas com solução de Iodo. (a) Antes do período de 30 minutos de espera, (b) Depois do período de 30 minutos de espera para absorção da solução pelas amostras.....	73
Figura 5.6. (a) Suporte metálico para preparação das amostras para ensaio de DSC (b) amostra pronta para ensaio.....	73
Figura 5.7. Equipamento TGA Q500. Software QSeries.....	74
Figura 5.8. Cadinho aonde são colocadas as amostras para ensaio TGA.....	74
Figura 5.9. Gráfico gerado para <i>Sida carpinifolia</i> L.f. pelo equipamento TGA Q500 com <i>software</i> QSeries apresentando a curva de perda de massa versus temperatura (em verde) e sua derivada correspondente a <i>Derivative Thermogravimetry</i> (DTG) (em azul).....	75
Figura 5.10. Gral e pistilo para preparação da amostra_FTIR.....	76
Figura 5.11. (a) Suporte, (b) Prensa utilizados para fazer a pastilha.....	76
Figura 5.12. (a) Pastilha pronta no suporte do equipamento (b) Parte interna do equipamento aonde foi colocado o suporte com a pastilha.....	77
Figura 5.13. Picnômetros com as amostras após pesagem.....	77
Figura 5.14. (a) Tubo viscosimétrico capilar montado e (b) tubo no banho termostático..	79
Figura 5.15. Marcações do tubo viscosimétrico capilar.....	79

6. Resultados e Discussão

Figura 6.1. <i>Sida rhombifolia</i> após maceração, (a) em fundo branco (b) em fundo preto....	83
Figura 6.2. Curvas tenacidade (cN/tex) por percentual de alongamento (%) do teste realizado para a espécie <i>Sida cordifolia</i> L.....	85
Figura 6.3. Densidade linear (Tex): 1 - <i>Sida rhombifolia</i> L.; 2 - <i>Sida carpinifolia</i> L. f.; 3 - <i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Frixell; 4 – <i>Sida cordifolia</i> L.; 5 – <i>Malvastrum coromandelium</i> (L.) Gurck; 6 - <i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R.E. Fries. As medidas estão representadas por média e desvio-padrão.....	87
Figura 6.4. Carga de ruptura (N): 1 - <i>Sida rhombifolia</i> L.; 2 - <i>Sida carpinifolia</i> L. f.; 3 - <i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Frixell; 4 – <i>Sida cordifolia</i> L.; 5 – <i>Malvastrum coromandelium</i> (L.) Gurck; 6 - <i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R.E. Fries. As medidas estão representadas por média e desvio-padrão.....	87
Figura 6.5. Alongamento de ruptura (mm): 1 - <i>Sida rhombifolia</i> L.; 2 - <i>Sida carpinifolia</i> L. f.; 3 - <i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Frixell; 4 – <i>Sida cordifolia</i> L.; 5 – <i>Malvastrum</i>	

<i>coromandelium</i> (L.) Gurck; 6 - <i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R.E. Fries. As medidas estão representadas por média e desvio-padrão.....	89
Figura 6.6. Módulo de Young (N/tex): 1 - <i>Sida rhombifolia</i> L.; 2 - <i>Sida carpinifolia</i> L. f.; 3 - <i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Frixell; 4 - <i>Sida cordifolia</i> L.; 5 - <i>Malvastrum coromandelium</i> (L.) Gurck; 6 - <i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R.E. Fries. As medidas estão representadas por média e desvio-padrão.....	89
Figura 6.7. Regain (%): 1 - <i>Sida rhombifolia</i> L.; 2 - <i>Sida carpinifolia</i> L. f.; 3 - <i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Frixell; 4 - <i>Sida cordifolia</i> L.; 5 - <i>Malvastrum coromandelium</i> (L.) Gurck; 6 - <i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R.E. Fries. As medidas estão representadas por média e desvio-padrão.....	91
Figura 6.8. Microscopias longitudinais das fibras (a) <i>Sida rhombifolia</i> L.; (b) <i>Sida carpinifolia</i> L. f.; (c) <i>Sida cordifolia</i> L.; (d) <i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Fryxell; (e) <i>Malvastrum coromandelium</i> (L.) Gurck; (f) <i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R. E. Fries. As imagens foram obtidas com um aumento de 80x.....	92
Figura 6.9. Microscopias longitudinais da fibras (a) e (b) <i>Sida rhombifolia</i> L., (c) e (d) <i>Sida carpinifolia</i> L. f., (e) e (f) <i>Sida cordifolia</i> L., As escalas indicadas dentro de cada figura correspondem a: (a) 100 microns; (b) 20 microns; (c) 100 microns; (d) 100 microns; (e) 50 microns; (f) 20 microns. As imagens (b), (d) e (f) foram realizadas em <i>Ultra-high resolution Field Emission Gun Scanning Electron Microscopy</i> (FEG-SEM), NOVA 200 Nano SEM (FEI Company, EUA) na UMINHO (CUNHA; RELVAS, 2011).....	93
Figura 6.10. Microscopias longitudinais da fibras (a) e (b) <i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Fryxell, (c) e (d) <i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Gurck, (e) e (f) <i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R. E. Fries. As escalas indicadas dentro de cada figura correspondem a: (a), (c) e (e) 50 microns; (b) 40 microns; (d) 10 microns e (f) 20 microns. As imagens (b), (d) e (f) foram realizadas em <i>Ultra-high resolution Field Emission Gun Scanning Electron Microscopy</i> (FEG-SEM), NOVA 200 Nano SEM (FEI Company, EUA) na UMINHO (CUNHA; RELVAS, 2011).....	94
Figura 6.11. Microscopia longitudinal das fibras de algodão onde são visualizadas suas convoluções (COTTON FIBER GENOMICS PROJECT, 2012).....	94
Figura 6.12. Microscopia transversal das fibras (a) <i>Sida rhombifolia</i> (aumento de 640x); (b) <i>Sida carpinifolia</i> (aumento de 1280x); (c) <i>Sida cordifolia</i> (aumento de 1280x); (d) <i>Sidastrum paniculatum</i> (aumento de 640x); (e) <i>Malvastrum coromandelium</i> (aumento de 1280x); (f) <i>Wissadula Subpeltata</i> (aumento de 1280x).....	95

Figura 6.13. Vista transversal realizada com solução de Iodo. (a) e (b) <i>Sida rhombifolia</i> ; (c) e (d) <i>Sida carpinifolia</i> ; (e) e (f) <i>Sida cordifolia</i> ; (g) e (h) <i>Sidastrum paniculatum</i> ; (i) e (j) <i>Malvastrum coromandelianum</i> ; (k) <i>Wissadula subpeltata</i> . As escalas indicadas dentro de cada figura correspondem à (a), (d), (f), (g), (h), (i) e (k): 50 microns e (b), (c), (e), e (j): 150 microns.....	96
Figura 6.14. Microscopia transversal de: (a) juta; (b) sisal; (c) abacá; (d) kenaf, todas com aumento de 500 vezes.....	97
Figure 6.15. Microscopias de luz polarizada: (a) <i>Sida rhombifolia</i> L.; (b) <i>Sida carpinifolia</i> L. f.; (c) <i>Sida cordifolia</i> L.; (d) <i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Fryxell; (e) <i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Gurck; (f) <i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R. E. Fries. As escalas estão indicadas na parte inferior das imagens – (a) a (e): 50 microns; (f): 150 microns.....	98
Figura 6.16. Imagens de fibras de (a) kenaf; (b) cânhamo e (c) linho obtidas por microscopia de luz polarizada com aumento de 400x.....	99
Figura 6.17. Imagens de fibras de algodão obtidas por microscopia de luz polarizada. As escalas indicadas nas imagens correspondem a 50 microns.....	99
Figura 6.18. Ensaios de FTIR realizados para: <i>Sida rhombifolia</i> L.; <i>Sida carpinifolia</i> L. f.; <i>Sida cordifolia</i> L.; <i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Fryxell; <i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Gurck; <i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R. E. Fries. As legendas explicativas para cada curva estão no interior da figura.....	100
Figura 6.19. FTIR de celulose microcristalina produzida a partir de diferentes fontes: Avicel® (Merck, Darmstadt, Alemanha), bagaço, sabugo de milho, casca de arroz e algodão.....	100
Figura 6.20. Gráfico FTIR obtido para <i>Sida rhombifolia</i> L., com as indicações dos principais picos. O primeiro pico, próximo aos 3500cm^{-1} representa os grupos hidroxila, o segundo, terceiro e quarto pico indicados representam lignina, hemicelulose e celulose respectivamente.....	102
Figure 6.21. Ensaio realizado para <i>Sida carpinifolia</i> L. f. (condição ambiente) em <i>Diferencial Scanning Calorimeter</i> DSC7 (Perkin Elmer, EUA), 40-300°C, 20°C/min.....	103
Figure 6.22. Ensaio realizado para <i>Sida carpinifolia</i> L. f. (condição ambiente) em <i>Diferencial Scanning Calorimeter</i> Mettler Star SW 8.10 (Mettler Toledo, EUA), 0-450°C, 10°C/min.....	103
Figura 6.23. Valores do pH do extrato aquoso para as espécies do presente estudo: 1- <i>Sida rhombifolia</i> L. 2 - <i>Sida carpinifolia</i> L. f. 3 - <i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Fryxell. 4 – <i>Sida cordifolia</i> L.. 5 – <i>Malvastrum coromandelium</i> (L.) Gurck. 6 - <i>Wissadula subpeltata</i>	

(Kuntze) R. E. Fries. A linha azul indica o pH da solução salina antes do início do ensaio e a vermelha após o processo de fervura, ao final do ensaio.....	112
Figura 6.24. <i>Sida rhombifolia</i> L. (a) antes e (b) depois do teste com Varsol (32X).....	113
Figura 6.25. <i>Sida rhombifolia</i> L. (a) antes e (b) depois do teste com H ₂ SO ₄ 0,01N (32X).....	114
Figura 6.26. <i>Sida cordifolia</i> L. (a) antes e (b) depois do tratamento com NaOH 1N (32X).....	115

Lista de Equações

2. Revisão bibliográfica

Equação 2.1. Definição de transmitância.....	56
Equação 2.2. Definição de transmitância porcentual.....	56
Equação 2.3. Definição de absorvância.....	56
Equação 2.4. Cálculo da entalpia em gráficos de DSC.....	58

5. Materiais e Métodos

Equação 5.1. Determinação do título médio das fibras.....	64
Equação 5.2. Definição de tenacidade.....	65
Equação 5.3. Definição de módulo de Young.....	65
Equação 5.4. Cálculo do conteúdo porcentual de umidade (ou “umidade”)	66
Equação 5.5. Cálculo da recuperação porcentual de umidade (ou “ <i>regain</i> ”)	66
Equação 5.6. Cálculo da densidade da fibra em gramas por centímetro cúbico.....	78
Equação 5.7. Cálculo da viscosidade específica da solução.....	80
Equação 5.8. Cálculo do valor do grau de polimerização da celulose na fibra	80
Equação 5.9. Cálculo da viscosidade intrínseca através da seguinte relação de Kuhn-Mark-Houwink-Sakurada	80
Equação 5.10. Cálculo da viscosidade específica através da fórmula de Martin.....	80
Equação 5.11. Cálculo logarítmico da viscosidade específica através da fórmula de Martin.....	80
Equação 5.12. Cálculo da viscosidade específica através dos tempos de queda das soluções no viscosímetro.....	80
Equação 5.13. Cálculo do grau de polimerização médio.....	81
Equação 5.14. Cálculo do parâmetro estatístico de média.....	82
Equação 5.15. Cálculo do parâmetro estatístico de desvio-padrão.....	82
Equação 5.16. Cálculo estatístico de coeficiente de variação.....	82

Sumário

1. Introdução.....	18
2. Revisão Bibliográfica.....	19
2.1. A importância das fibras naturais na história.....	19
2.2. A cadeia têxtil.....	21
2.3. Fibras têxteis.....	22
2.4. Fibras têxteis vegetais.....	23
2.5. Plantas Fibrosas no Reino Vegetal.....	25
2.5.1. Estrutura celular vegetal.....	25
2.5.2. Localização das fibras na planta.....	26
2.5.2.1. Fibras da semente.....	27
2.5.2.2. Fibras do caule.....	27
2.5.2.3. Fibras da folha.....	29
2.5.2.4. Fibras do fruto.....	29
2.6. Diversidade da Flora Brasileira.....	30
2.7. Vantagens e limitações na utilização de fibras vegetais.....	31
2.7.1. Fibras vegetais na fabricação de compósitos.....	33
2.8. Capacidade produtiva brasileira dentro do Setor Têxtil.....	37
2.9. Fibras vegetais de espécies de Malvaceae.....	40
2.9.1. <i>Sida rhombifolia</i>	40
2.9.2. <i>Sida carpinifolia</i>	43
2.9.3. <i>Sida cordifolia</i>	44
2.9.4. <i>Sidastrum paniculatum</i>	47
2.9.5. <i>Malvastrum coromandelium</i>	48
2.9.6. <i>Wissadula subpeltata</i>	49
2.10. Caracterização de Fibras Vegetais.....	50
2.10.1. Maceração.....	51
2.10.2. Comprimento.....	51
2.10.3. Ensaio Tensil de Tração.....	52
2.10.4. <i>Regain</i> e Umidade.....	52
2.10.5. Microscopia.....	53
2.10.6. <i>Fourier transform infrared spectroscopy</i> (FTIR).....	55
2.10.7. Grau de Polimerização médio viscosimétrico das fibras.....	57
2.10.8. <i>Digital Scanning Calorimetry</i> (DSC).....	57
2.10.9. <i>Thermogravimetric analysis</i> (TGA).....	59

3. Objetivo.....	61
4. Justificativa.....	62
5. Materiais e Métodos.....	63
5.1. Origem das espécies.....	63
5.2. Maceração em Água.....	63
5.3. Testes Físicos.....	63
5.3.1. Climatização das Amostras.....	63
5.3.2. Comprimento.....	64
5.3.3. Determinação do Título Médio das Fibras.....	64
5.3.4. Ensaio de Tração das Fibras.....	64
5.4. Determinação do Teor de <i>Regain</i> e Umidade.....	65
5.5. Microscopia das Fibras.....	66
5.5.1. Corte Transversal.....	66
5.5.2. Encapsulamento da Fibra.....	67
5.5.3. Dimensão das células constituintes das fibras.....	69
5.5.4. Corte Longitudinal.....	69
5.6. Testes Químicos.....	69
5.6.1. Combustão.....	69
5.6.2. Efeito dos Ácidos.....	70
5.6.3. Efeito dos Álcalis.....	70
5.6.4. Efeito dos Solventes Orgânicos.....	71
5.6.5. Determinação do pH do extrato aquoso.....	71
5.7. Ensaio realizado na Universidade Politécnica da Catalunya – UPC e Universidade do Minho (UMINHO).....	71
5.7.1. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	72
5.7.2. Microscopia óptica transversal com solução de Iodo.....	72
5.7.3. Microscopia de luz polarizada.....	73
5.7.4. <i>Digital Scanning Calorimetry</i> (DSC).....	73
5.7.5. <i>Thermogravimetric Analysis</i> (TGA).....	74
5.7.6. <i>Fourier transform infrared spectroscopy</i> (FTIR).....	75
5.7.7. Densidade.....	77
5.7.8. Grau de polimerização médio viscosimétrico da celulose nas fibras.....	78
5.7.9. Determinação da quantidade de lignina pelo método de Klason modificado.....	80
5.8. Análise estatística dos resultados.....	82
6. Resultados e Discussão	83
6.1. Maceração em Água.....	83
6.2. Testes Físicos.....	84
6.2.1. Climatização das Amostras.....	84
6.2.2. Comprimento.....	84
6.2.3. Determinação do Título Médio das Fibras.....	84
6.2.4. Ensaio de Tração das Fibras.....	85
6.3. Determinação do Teor de <i>Regain</i> e Umidade.....	90
6.4. Microscopia das Fibras.....	92
6.4.1. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	93
6.4.2. Microscopia óptica transversal.....	95
6.4.3. Microscopia de luz polarizada.....	98
6.5. <i>Fourier transform infrared spectroscopy</i> (FTIR).....	100
6.6. <i>Digital Scanning Calorimetry</i> (DSC).....	103

6.7. <i>Thermogravimetric analysis</i> (TGA) e método Klason modificado.....	105
6.8. Densidade.....	108
6.9. Grau de Polimerização médio viscosimétrico das fibras.....	109
6.10. Combustão.....	111
6.11. Determinação do pH do extrato aquoso.....	112
6.12. Efeito dos solventes orgânicos.....	113
6.13. Efeito dos ácidos.....	114
6.14. Efeito dos álcalis.....	115
6.15. Propostas de usos e processos para aplicação das fibras em diversas áreas produtivas.....	116
7. Conclusões	119
8. Referências.....	121
9. Anexos.....	136
Anexo I. Espécies após maceração em fundo branco e preto.....	136
Anexo II. Gráficos obtidos em dinamômetro Instron (5569, EUA).....	137
Anexo III. Tabelas com os resultados obtidos em dinamômetro Instron (5569, EUA).....	138
Anexo IV. Gráficos obtidos dos primeiros ensaios de <i>Diferencial Scanning Calorimetry</i> (DSC), realizados em aparelho DSC7 (Perkin Elmer, EUA), de 40 a 300°C, com velocidade de aquecimento de 20°C/min, utilizando amostras em temperatura ambiente e amostras retiradas de estufa a vácuo.....	150
Anexo V. Gráficos obtidos dos ensaios de <i>Diferencial Scanning Calorimetry</i> (DSC), realizados em aparelho Mettler Star SW 8.10 (Mettler Toledo, EUA), de 0 a 450°C, com velocidade de aquecimento de 10°C/min, utilizando amostras em condição ambiente.....	153
Anexo VI. Gráficos obtidos dos ensaios de <i>Thermogravimetric analysis</i> (TGA) e <i>Derivative Thermogravimetry</i> (DTG) realizados em aparelho TGA Q500 (TA Instruments, EUA), de 30 a 800°C, com velocidade de aquecimento de 30°C/min, utilizando amostras em condição ambiente.....	156
Anexo VII. Gráficos de transmitância obtidos dos ensaios de <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR) em aparelho FTIR-8400S (Shimadzu, Japão), com número de onda de 4000 a 500 cm ⁻¹	160
Anexo VIII. Efeito dos solventes orgânicos (0,1 g, condição ambiente, 24 h).....	163
Anexo IX. Efeito do ácido H ₂ SO ₄ 0,01 N (0,1 g, condição ambiente, 60 min).....	164
Anexo X. Efeito do ácido H ₂ SO ₄ 0,1 N (0,1 g, condição ambiente, 60 min).....	165
Anexo XI. Efeito do álcali NaOH 1 N (0,1 g, condição ambiente, 60 min).....	166
Anexo XII. Efeito do álcali NaOH 7,5 N (0,1 g, condição ambiente, 20 min).....	167

1. Introdução

Com o desenvolvimento tecnológico aumentaram as expectativas de uso dos recursos naturais, e isso fez com que surgissem questões relacionadas à disponibilidade de materiais, como os derivados de recursos sustentáveis, que podem ser processados com menor consumo de energia; bem como os materiais recicláveis, incluindo aqueles a partir dos quais a energia pode ser recuperada (PICKERING, 2008). Assim, a busca por novos materiais, preferencialmente os de origem natural, é constante. As pesquisas desenvolvidas atualmente necessitam considerar não só a funcionalidade do material, mas também o seu processo produtivo, produtos utilizados, como também o descarte desse material (MANZINI; VEZZOLI, 2008).

Fibras vegetais, tais como juta, sisal, fibra de bananeira, coco e outras constituem materiais sustentáveis, já possuindo aplicações correntes (produção de fios, tecidos, não tecidos, compósitos, etc) e outras aplicações ainda sendo pesquisadas. Por outro lado, de muitas outras espécies vegetais brasileiras e suas respectivas fibras pouco ou nada é conhecido sobre suas características e possíveis aplicações.

Com relação às fibras da espécie da família Malvaceae, não foram encontradas referências bibliográficas recentes. Deste modo, o presente estudo tem como objetivo determinar as características físicas e químicas de fibras de seis espécies da família Malvaceae, formando assim uma base na literatura científica para pesquisas futuras, as quais podem ser no sentido de aplicação das fibras, bem como incentivo ao estudo e caracterização de outras espécies vegetais brasileiras. Foram realizados testes físicos tênséis (resistência e alongamento); microscopia óptica (sem e com solução de iodo); teores de *regain* e umidade; testes químicos de combustão, determinação do pH do extrato aquoso, efeitos de solvente orgânico, álcali e ácido. Em adição, foram feitos testes de DSC, TGA, SEM, FTIR, microscopia de luz polarizada, grau de polimerização e densidade.

Dessa forma, a revisão bibliográfica foi desenvolvida em onze tópicos, nos quais é possível encontrar a fundamentação teórica necessária para a compreensão da pesquisa realizada, uma vez que trata das fibras vegetais em seu contexto histórico, industrial, ambiental e econômico; bem como foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os métodos analíticos empregados. Após, há descrição detalhada da metodologia desenvolvida, seguida dos resultados e discussão e as conclusões obtidas do presente estudo.

2. Revisão bibliográfica

2.1. A importância das fibras naturais na História

O indício mais antigo da existência de têxteis na História data de mais de 24 mil anos. Foram encontrados vestígios no leste Europeu que provam a presença de tecelagem no Período Paleolítico (que vai até 10.000 a. C.). Neste período o principal motivo do uso de têxteis era cobrir o corpo para controlar o frio (PEZZOLO, 2007).

O homem primitivo que vivia junto a grandes geleiras logo percebeu que os animais poderiam ser utilizados não só para obtenção da carne, mas também para aproveitamento da pele, ao passo em que os povos que viviam em climas subtemperados descobriram a utilização das fibras; acredita-se que o processo utilizado inicialmente era a feltragem, que consiste em molhar as fibras, colocá-las sobre uma esteira, enrolá-las e batê-las com força utilizando uma vara, de forma a compactar as fibras. Outra técnica utilizada era o aproveitamento de cascas de árvores, as quais eram arrancadas e colocadas em água. As fibras provenientes destas cascas eram então colocadas em camadas sobre uma pedra, e depois sovadas até se juntarem, em seguida usava-se óleo ou tinta natural para aumentar sua durabilidade (LAVER; TUCKER; DE LA HAYE, 2002).

As fibras vegetais mais antigas, cultivadas na Antiguidade foram o algodão e o linho, que datam de aproximadamente 3.000 a 5.000 a. C. Ambas bastante utilizadas para confecção de diversos tipos de produtos. Com o passar do tempo, após a chegada da era industrial, o mercado foi se tornando cada vez mais competitivo, de forma que o desenvolvimento de novos materiais tornou-se necessário, o que fez com que as indústrias se tornassem mais informatizadas e a matéria-prima diversificada (PEZZOLO, 2007). Assim surgiram as fibras artificiais e as regeneradas, as quais tiveram sua primeira aparição há mais de 100 anos, quando Chardonnet criou a seda artificial. Posteriormente, em 1935, Dr. Carothers da Du Pont Company produziu pela primeira vez o náilon, uma inovação para a época (HONGU; PHILIPS, 1997).

A partir de então, com a Revolução Industrial e o desenvolvimento de novas tecnologias, a exploração dos recursos naturais se intensificou e adquiriu outras características. Um modelo de civilização se impôs, alicerçado na industrialização, com sua forma de produção e organização do trabalho, a mecanização da agricultura e a utilização de matérias-primas não renováveis. Ao longo do último meio século, fibras naturais foram substituídas por fibras artificiais como o acrílico, náilon, poliéster e polipropileno. O sucesso dos produtos sintéticos se deve principalmente ao custo. Ao

contrário das fibras naturais colhidas pelos agricultores, as fibras sintéticas comumente utilizadas são produzidas em massa e facilmente personalizadas para aplicações específicas. Entretanto, à medida que a humanidade aumentou sua capacidade de intervir na natureza para satisfação de necessidades e desejos crescentes, surgiram também questões referentes ao uso dos recursos. Conforme este desenvolvimento foi se mostrando negativo no sentido de esgotamento dos recursos, surgiram movimentos que refletem a consciência da população sobre as ameaças que estão ocorrendo ao meio ambiente. Os estudos ecológicos começaram a tornar evidente que a destruição e até a simples alteração de um único elemento pode ser nociva para todo o ecossistema (PCN, 2012).

A crescente conscientização ambiental está fazendo com que a indústria priorize a utilização dos materiais naturais; porém, com muito mais conhecimento e avanço tecnológico, o que pode permitir seu melhor aproveitamento, juntamente com a constante busca por novas metodologias e processos menos poluentes e mais eficazes (COIMBRA; OLIVEIRA, 2005).

As fibras naturais são um recurso renovável por excelência, elas absorvem a mesma quantidade de dióxido de carbono que produzem. Durante o seu processamento geram resíduos essencialmente orgânicos e deixam resíduos que podem ser usados para gerar eletricidade e, no final do seu ciclo de vida, são 100% biodegradáveis (BRITO; AGRAWAL; ARAÚJO, 2011).

Segundo estudo da FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), realizado no ano de 2009, estima-se que a produção de uma tonelada de fibras de juta requer apenas 10% da energia utilizada para a produção de uma tonelada de fibras sintéticas e, apesar do processamento de algumas fibras naturais liberar alguns tipos de poluentes na água, estes consistem principalmente de compostos biodegradáveis, em contraste com os produtos químicos persistentes, incluindo metais pesados, propagados no efluente do processamento de fibras sintéticas (NATURAL FIBERS, 2009).

Sendo assim, é possível perceber por meio das referências citadas que, apesar de o mercado de fibras naturais oscilar mediante a concorrência com as fibras sintéticas, a indústria atualmente tende a buscar alternativas de produção que utilizem recursos renováveis, em razão de o pensamento estar mudando quanto às questões ambientais (PIZYBSKI; FRANCISCO, 2012).

2.2. A cadeia têxtil

A cadeia têxtil começa, de maneira simplificada, no setor agropecuário (fibras naturais) ou na indústria química (fibras manufaturadas), passando pela fiação, tecelagem, beneficiamento, confecção e termina no consumidor final, conforme **Figura 2.1**. As etapas do processo produtivo são as seguintes (MALUF; KOLBE, 2003):

Fiação: Etapa de obtenção do fio a partir das fibras têxteis. O fio pode ou não ser enviado para o beneficiamento ou diretamente para tecelagens e malharias;

Tecelagem: Etapa de elaboração de tecido com estrutura plana, caracterizada pelo entrelaçamento de fios em estruturas lineares;

Malharia: O princípio básico da formação dos tecidos de malha é o de formação de laçadas com os fios. O setor de malharia pode ser dividido em duas categorias: malharia de trama (subdividida em circular e retilínea) e malharia de urdume;

Beneficiamento: Etapa de preparação dos fios para seu uso final ou não, envolvendo tingimento, engomagem, retorção (linhas, barbantes, fios especiais etc.) e tratamentos especiais;

Confecção: Esta é a fase em que ocorre o desenvolvimento da peça de vestuário. Nesta etapa o setor tem aplicação diversificada de tecnologias. Trata-se da última etapa da cadeia têxtil, sendo de grande importância econômica, pois é um grande gerador de empregos (BASTIAN, 2009).

O país, ainda que minoritariamente, apresenta participação significativa dentro do setor têxtil mundial. Segundo a ABIT (Associação Brasileira da Indústria Têxtil e da Confecção), o Brasil possui ainda a última Cadeia Têxtil completa do Ocidente, ou seja, desde a produção das fibras, como plantação de algodão, até os desfiles de moda, passando por fiações, tecelagens, beneficiadoras, confecções e forte varejo. Além disso, o Brasil é referência mundial em design de moda praia, *jeanswear* e *homewear* (ABIT, 2012).

Dentro de toda essa produção nacional, destacam-se as fibras naturais, sobretudo as vegetais, as quais são encontradas abundantemente no território brasileiro (LEÃO, 2008).

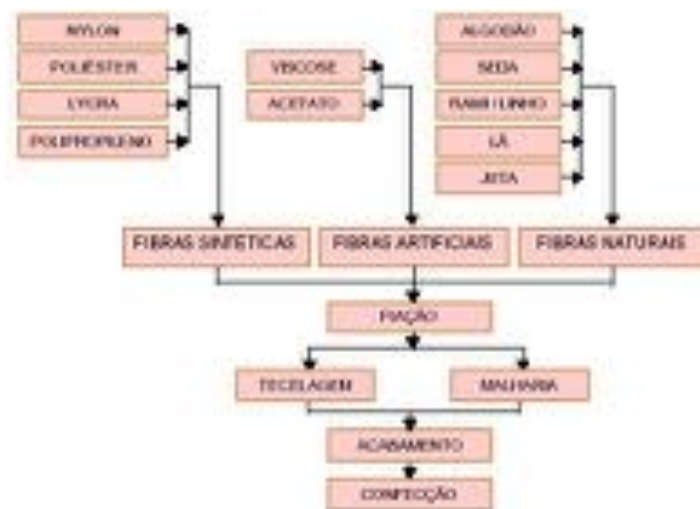


Figura 2.1. Fluxo produtivo do setor têxtil (IEMI, 2011).

2.3. Fibras têxteis

Entende-se por fibra têxtil qualquer substância, natural ou química, que possua um comprimento muito superior a sua espessura, com características adequadas para a fiação e posterior tecelagem. Podem ser contínuas ou descontínuas. As fibras contínuas possuem um comprimento grande como, por exemplo, a seda (fibra natural) e as não naturais (ou sintéticas) que são desenvolvidas de acordo com a necessidade do fabricante. Logo, as fibras descontínuas são as que possuem comprimento limitado a alguns centímetros (ARAÚJO; MELO E CASTRO, 1984).

É comum agruparem-se as propriedades das fibras em três classes, designadamente, em propriedades morfológicas e geométricas, propriedades físicas e propriedades químicas. Classificadas quanto à sua origem, podem ser naturais ou químicas (PEZZOLO, 2007):

- Fibras naturais: podem ser de origem vegetal, (semente, caule, folha e fruto), animal (derme ou secreção) ou mineral (asbesto);
- Fibras químicas: classificam-se em regeneradas (viscose, modal e liocel), modificadas (acetato), sintéticas (poliamida ou náilon, poliéster, polipropileno, acrílico e poliuretano) e inorgânicas (fibra de vidro, carbono, etc).

As fibras naturais de origem vegetal são constituídas basicamente de celulose, um polímero natural baseado em glicose. Para sua construção, feixes de moléculas de celulose se agregam em forma de microfibrilas, e estas constroem fibrilas que constituem as fibras celulósicas. Fibras de origem animal podem ser obtidas da derme (como no caso da lã),

bem como de secreções (seda). Rochas com estruturas fibrosas dão origem às fibras minerais, formadas essencialmente por silicatos (CORREIA, 2011).

As fibras produzidas pelo homem são fabricadas por meio de polímeros naturais ou sintéticos, diluídas em um solvente apropriado ou fundidas. As sintéticas são obtidas por meio de polímeros originados da cadeia petroquímica. As fibras regeneradas são desenvolvidas a partir da celulose, que é um polímero existente na natureza, como é o caso da viscose (ou seda artificial) (KUASNE, 2008).

2.4. Fibras têxteis vegetais

Em geral, as fibras vegetais podem ser classificadas de várias maneiras. Nas classificações segundo a origem anatômica, a natureza química e a utilização econômica das fibras; seria impossível estabelecer subdivisões que fossem mutuamente exclusivas ou totalmente inclusivas. A classificação segundo os grupos naturais ou famílias botânicas é a mais precisa e científica dentre todas (MEDINA, 1959).

Os componentes químicos principais das fibras vegetais são substâncias polares, como celulose, lignina e hemicelulose. Há também em sua construção pequenos percentuais de pectina, substâncias solúveis em água e ceras, mostrados na **Tabela 2.1**.

Tabela 2.1. Produção anual e composição química de algumas fibras comercialmente importantes (MWAIKAMBO; ANSELL, 2002).

Fibra	Produção Mundial Atual (10³ toneladas)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Pectina (%)
Algodão	18.450	92	6		<1
Juta	2.850	72	13	13	
Linho	830	81	14	3	4
Sisal	378	73	13	11	2
Cânhamo	214	74	18	4	1
Fibra de coco	650	43	<1	45	4
Rami	170	76	15	1	2
Palha		40	28	17	8
Paina	123	13			

As características das fibras vegetais podem variar dependendo da variedade da espécie, região de cultivo, condições climáticas, tipos de solo e fase de crescimento da planta dentre outros fatores (LEÃO, 2008).

Por conta de sua composição química, as fibras vegetais são também chamadas de lignocelulósicas (celulose, lignina e hemicelulose). Tais componentes estão dispostos na fibra em uma complexa estrutura física (BENINI, 2011) (**Figura 2.2**).

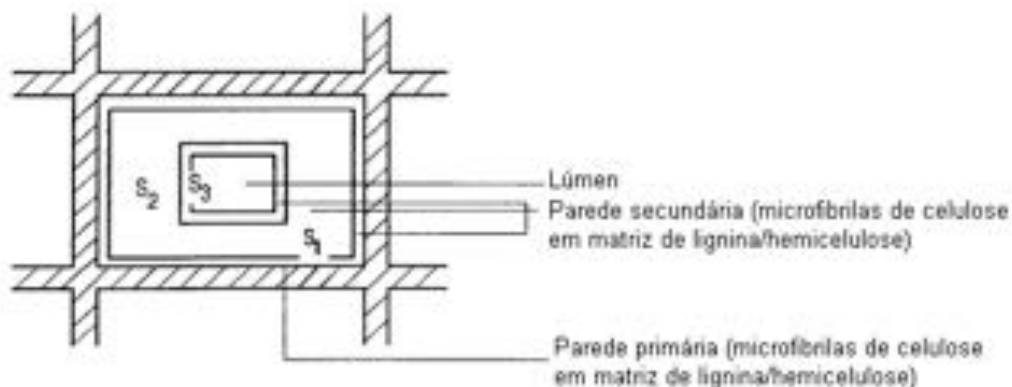


Figura 2.2. Representação esquemática de uma célula vegetal (FÁVARO, 2007).

Celulose determina as propriedades mecânicas das fibras. É um polissacarídeo composto de carbono, oxigênio e hidrogênio, sendo sua fórmula química $(C_6H_{10}O_5)_n$. Durante a síntese da celulose, as ligações poliméricas formam longas cadeias de maneira que as moléculas ficam próximas por meio de longos segmentos, originando fortes ligações químicas secundárias intermoleculares, as quais são responsáveis pela grande resistência dos materiais celulósicos. A cristalinidade da celulose pode variar de acordo com sua origem e seu processamento. Por exemplo, a celulose do algodão possui cristalinidade em torno de 70%, com cadeias mais ordenadas, enquanto a celulose de árvores apresenta cristalinidade em torno de 40% (TOMCZAK, 2010).

Hemicelulose é o complexo de maior ocorrência na biosfera depois da celulose. É um polissacarídeo com baixa massa molar, interceptado por microfibrilas de celulose que favorecem a elasticidade e evitam que as microfibrilas se toquem. A hemicelulose é dividida em pentosanas (xilose e arabinose) e hexanas (galactose, manose e glicose) que possuem, respectivamente, as fórmulas gerais $C_5H_8O_4$ e $C_6H_{10}O_5$. Devido a sua estrutura aberta, a qual contém muitos grupos hidroxila e acetil, a hemicelulose é parcialmente solúvel em água e higroscópica (BENINI, 2011).

Lignina é uma macromolécula aromática com estrutura química indefinida, suas estruturas têm tendência de autocondensação, em especial em meio ácido, o que explica sua resistência à degradação, que leva à formação de estruturas moleculares mais simples (GUIMARÃES et al, 2010). É um polímero proveniente de unidades fenilpropanóides denominadas C_6C_3 ou, simplesmente, unidades C_9 , repetidas de forma irregular, que têm sua origem na polimerização desidrogenativa do álcool coniferílico (SALIBA et al, 2001).

2.5. Plantas Fibrosas no Reino Vegetal

As fibras no reino vegetal crescem em importância das formas mais primitivas para as mais sofisticadas. É a partir das gimnospermas que notamos maior ocorrência de espécies fibrosas, embora não de grande relevância comercial (CASTRO, 2012).

As fornecedoras de fibras que são comercializadas atualmente são justamente as angiospermas, tanto monocotiledôneas como dicotiledôneas. Dentre essas, há os grupos botânicos ou famílias que são mais ricos em plantas produtoras de fibras têxteis, sendo a mais importante a da ordem *Malvales* (com exceção de apenas três: linho da ordem *Geraniales*, crotalária da ordem *Rosales* e cânhamo da ordem *Urticales*), incluindo o algodão, juta, guaxima, papoula-de-são-francisco, malva, kapok e outras painas. *Liliflorae* e *Scitamineae* são ordens das monocotiledôneas de fibras comerciais como sisal, henequém e abacá (MEDINA, 1959).

Segundo Legner (2011), as fibras de importância econômica ocorrem em muitas famílias botânicas diferentes, especialmente naquelas de regiões tropicais, algumas principais são: *Palmae*, *Gramineae*, *Liliaceae*, *Musaceae*, *Amaryllidaceae*, *Malvaceae*, *Urticaceae*, *Linaceae*, *Moraceae*, *Tiliaceae*, *Bromeliaceae*, *Bombacaceae* e *Luguminosae*.

2.5.1. Estrutura celular vegetal

As células vegetais apresentam em sua estrutura uma parede celular, cujas funções são: determinar o tamanho e a forma da célula, conferir resistência mecânica e proteção contra o ataque de predadores, promover a adesão entre as células, delimitar o tamanho e as propriedades químico-físicas das moléculas que têm acesso ao interior da célula, controlar o nível de umidade e ainda pode funcionar como reserva energética (BUCKERIDGE; DOS SANTOS e SOUZA, 2010).

A parede celular é composta por uma mistura de polissacarídeos, proteínas, compostos fenólicos e sais minerais. Os polissacarídeos representam cerca de 90% do peso seco da parede e consistem em celulose, que compõe de 20-40% da parede celular, hemiceluloses (15-25%) e pectinas (~30%). Essa matriz é altamente ordenada e dinâmica podendo tornar-se mais rígida ou mais frouxa conforme as necessidades ontogênicas e comportamentais da célula ou da planta (BUCKERIDGE; DOS SANTOS e SOUZA, 2010).

Muitos processos que ocorrem na célula vegetal são análogos aos que ocorrem na célula animal. Contudo, algumas características são típicas à célula vegetal, sobretudo referente à parede celular (MAGENTA, 2008).

Os principais componentes da parede incluem celulose (na forma de microfibrilas organizadas), conforme **Figura 2.3**, um carboidrato complexo feito de milhares de moléculas de glicose ligadas final com final. Além disso, a parede da célula contém dois grupos de polissacarídeos ramificados, as pectinas e glicanos cruzados. Organizados em rede com as microfibrilas de celulose, os glicanos cruzados aumentam a resistência à tração da celulose, enquanto a rede coexistente de pectinas oferece à parede celular a habilidade de resistir à compressão. Além dessas redes, uma pequena quantidade de proteína pode ser encontrada em todas as paredes celulares de plantas primárias (MOLECULAR EXPRESSIONS, 2011).

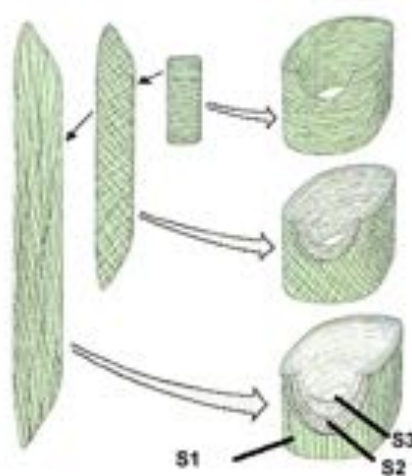


Figura 2.3. Esquema mostrando a disposição das fibrilas de celulose nas diferentes camadas de parede celular, respectivamente S1, S2 e S3 (CASTRO, 2007).

2.5.2. Localização das fibras na planta

Todas as fibras são similares nos seus esclerênquimas, sendo estes um tipo de tecido que serve de esqueleto para a planta. As paredes geralmente contêm lignina, bem como celulose, cujas fibras podem estar presentes na planta isoladamente ou em pequenos grupos. Essas fibras são mais aptas a formar folhas de tecido com células individuais sobrepostas e entrelaçadas. Elas podem ocorrer em quase todas as partes da planta: caules, folhas, frutos, sementes, etc. Sendo os quatro tipos principais agrupados de acordo com sua origem, incluem fibras liberianas, fibras de madeira, células esclerênquimatosas associadas com os fios do feixe vascular em folhas, e fibras de superfície que são pelos protuberantes na semente das plantas (LEGNER, 2011). As fibras têxteis podem ser extraídas das sementes, caules, folhas ou frutos (SBRT, 2008).

2.5.2.1. Fibras de semente

As fibras da semente são provenientes de células epidérmicas de algumas plantas, possuem estrutura unicelular e constituem-se basicamente de celulose. Como exemplo de fibras da semente pode-se citar o algodão (fibra proveniente da semente do algodoeiro *Gossypium*) (KUASNE, 2008) e a sumaúma ou *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn (fibra da família Bombacaceae, possui semente fibrosa, acetinada, leve e elástica) (SUMAÚMA E O HAICAI: CEIBA PENTRANDRA, 2012), ilustradas na **Figura 2.4**.

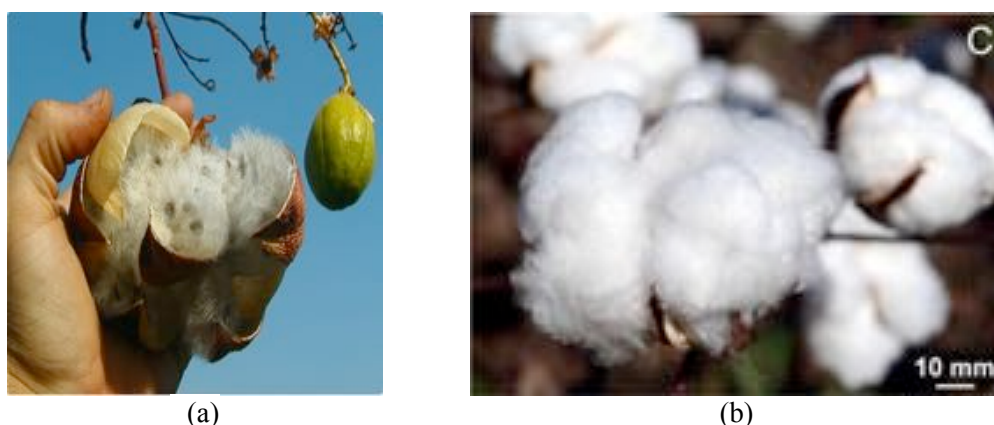


Figura 2.4. (a) Sumaúma e suas sementes (INFORMED FARMERS, 2012), (b) Capulho de algodão (COTTON FIBER GENOMICS PROJECT, 2012).

2.5.2.2. Fibras de caule

As denominadas fibras liberianas ou fibras macias têm origem no caule das plantas dicotiledôneas ou exógenas (de crescimento para fora), ocorrem na região fibroliberiana, ou floema, que está localizada em torno do lenho ou xilema e logo abaixo da casca do caule, podendo ser lignificadas ou não, com textura macia e flexível. As fibras liberianas “verdadeiras” são feixes multicelulares, agregados de células esclerenquimatosas em que as extremidades se sobrepõem formando filamentos contínuos por toda a extensão do caule, estes são cimentados por tecidos do floema, gomas e ceras e também por fibrilas ou fibras elementares que os compõem (MEDINA, 1959).

São exemplos de fibras vegetais do caule o cânhamo (fibra proveniente do líber do cânhamo ou *Cannabis sativa* L. – Canabiáceas (**Figura 5a**), a juta (fibra proveniente do líber de *Corchorus capsularis* L. – Tiliaceae e de *Corchorus olitorius* L. - Malvaceae) (**Figura 5b**), o linho (fibra proveniente do líber do linho *Linum usitatissimum* L. - Linaceae) (**Figura 6a**) e o rami (fibra proveniente do líber da *Boehmeria nivea*, Gaudich. - Urticaceae) (**Figura 6b**) (KUASNE 2008).

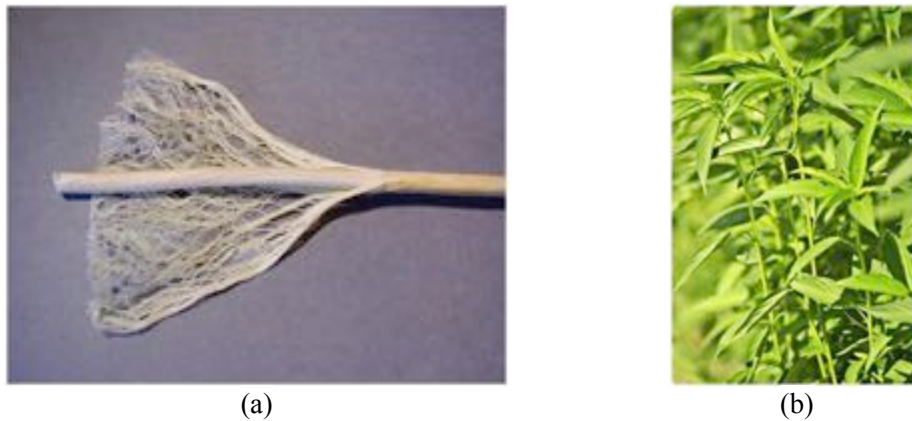


Figura 2.5. (a) Fibras do cânhamo (INFORMED FARMERS, 2012); (b) Juta (JUTE - THE GOLDEN FIBRE, 2012).



Figura 2.6. (a) Linho (NATURAL FIBRES, 2009); (b) Rami (NATURAL FIBRES, 2009).

Os filamentos ou feixes podem ser isolados dos tecidos vegetais circundantes por vários processos, sendo um dos mais comuns o processo biológico de maceração, o mesmo aplicado no cânhamo, linho e juta, por exemplo. Esse processo consiste em submeter o material à ação de microrganismos que decompõem os tecidos que circundam os feixes fibrosos e parcialmente também as substâncias intercelulares. Dessa maneira são facilmente separados por lavagem manual ou mecânica, conhecida como descorticagem, em que as cascas detentoras de fibras são separadas em forma de cintas do lenho. No entanto, isso não exclui a necessidade de maceração ou tratamento químico posterior, que tem o intuito de eliminar substâncias e tecidos que mantêm os feixes fibrosos unidos entre si (MEDINA, 1959).

2.5.2.3. Fibras de folha

As fibras de folha têm sua origem nas folhas de monocotiledôneas ou endógenas (de crescimento para dentro). Ocorrem em feixes ou fascículos compostos de células individuais, denominadas fibras elementares ou fibrilas, unidas entre si por gomas e ceras, espécie de um cimento vegetal, e com as extremidades sobrepondo-se, formando filamentos contínuos em todo o comprimento da folha. Esses feixes dão resistência e rigidez à folha e sustentam os vasos condutores de seiva (MEDINA, 1959). As fibras provenientes desses feixes são igualmente rígidas. Mesmo para fins têxteis, são consideradas mais grosseiras que as fibras provenientes de caule ou de semente (SAVASTANO JR, 1986).

Como exemplo de fibra vegetal oriunda das folhas destaca-se a de sisal, a qual é extraída do *Agave sisalana* Perrine - Agavaceae, nativa do México (NATURAL FIBRES, 2009) (**Figura 7**).



Figura 2.7. *Agave sisalana* Perrine, planta que dá origem ao sisal (NATURAL FIBRES, 2009).

Comercialmente, assim como na indústria têxtil, as fibras extraídas da folha são utilizadas sob a forma de feixes em todo seu comprimento original, as quais, após a separação dos demais tecidos da folha, geralmente por processo mecânico, são denominadas filamentos, ou no comércio apenas fibras. O principal uso final está na manufatura de muitos tipos de cordas e barbantes, embora sejam também empregadas na fabricação de tecidos grosseiros (MEDINA, 1959).

2.5.2.4. Fibras do fruto

Segundo Araújo e Melo e Castro (1984), as fibras de fruto são compostas essencialmente por celulose, com substâncias intercelulares formadas por hemicelulose e lignina. A fibra de coco (**Figura 2.8**) é a mais utilizada dentre as fibras oriundas dos frutos

das plantas. É originária do fruto do coqueiro (*Cocus nucifera* L.), a qual é uma palmeira de estipe (caule) cilíndrico liso (SAVASTANO JR, 1986).



Figura 2.8. Fibras extraídas do coco (FIBRENAMICS, 2013).

2.6. Diversidade da Flora Brasileira

"Flora" é definida como: "Conjunto de espécies vegetais que compõe a cobertura vegetal de uma determinada área; é um recurso de admirável valor, uma vez que cada planta tem sua importância fundamental na biodiversidade e ecossistemas" (IBGE, 2011).

O Brasil possui a maior biodiversidade vegetal do planeta, com mais de 55 mil espécies de plantas e cerca de 10 mil de briófitas. Um total equivalente a quase 25% de todas as espécies de plantas existentes no mundo todo. A cada ano, cientistas adicionam dezenas de espécies novas a essa lista, incluindo árvores de mais de 20 metros de altura. Acredita-se que o número atual de plantas conhecidas represente apenas 60% a 80% das plantas realmente existentes no país. Essa diversidade é tão grande que em cerca de um hectare da floresta amazônica ou da Mata Atlântica encontram-se mais espécies de árvores (entre 200 e 300 espécies) que em todo o continente europeu (FLORA BRASILEIRA, 2010).

Muitos pesquisadores procuram espécies vegetais brasileiras com propósito de busca de inovações, descobertas para a medicina, para a indústria cosmética, fármacos, química, etc. Paralelamente, no Brasil a indústria têxtil vem apresentando investimentos crescentes em tecnologias, pesquisas e inovações, implicando em melhoria aos usuários, desde conforto (resumido em qualidade de vida) até perspectivas econômicas e ambientais à comunidade brasileira (CNI, 2012).

Ainda que o número de edições reunidas nas coleções brasileiras seja significativo e tenha notadamente aumentado nas últimas décadas, principalmente devido à implantação

de cursos de pós-graduação e de programas de floras estaduais e regionais, representa muito pouco ainda no contingente de acervos dos herbários do mundo. Este fato é contraditório, quando se leva em conta o fato de que o país detém grande parte da diversidade vegetal do planeta (GIULIETTI et al, 2005).

No Brasil, há milhares de espécies vegetais nativas ainda não estudadas. Muitas delas se encontram em fase de extinção; outras, já foram extintas antes de serem conhecidas cientificamente. São inúmeras as aplicações destas espécies florestais: alimentação, medicina; vestuário; construção civil; móveis; na fabricação de chapéus, tecidos e papel; produção de perfumes, inseticidas, etc. A enorme variedade de utilização das plantas comprova a sua importância na vida do ser humano (IBGE, 2011).

Existe uma infinita diversidade de espécies vegetais com potencial de empregabilidade na indústria têxtil. Em adição, o consumo brasileiro de fibras têxteis é em sua maioria fibras naturais vegetais, como o algodão por exemplo. Devido à grande demanda dessas fibras, é necessário o estudo e o desenvolvimento de novos materiais têxteis e de novas alternativas de uso (CNI, 2012).

Importante novamente ressaltar que as características das fibras vegetais podem variar dependendo da variedade da espécie, região de cultivo, condições climáticas, tipos de solo e fase de crescimento da planta dentre outros fatores (LEÃO, 2008).

2.7. Vantagens e limitações na utilização de fibras vegetais

As fibras vegetais apresentam vantagens relevantes em sua utilização comparando-se com as fibras sintéticas e também com outras fibras naturais. Não somente na questão ambiental, por se tratarem de matérias-primas de fontes renováveis e, portanto, apresentarem potencial na substituição de outros materiais mais poluentes, mas também pelas boas propriedades mecânicas e térmicas, facilidade de separação, biodegradabilidade, baixo custo, entre outras (SANTOS et al, 2009).

Segundo (MARINELLI et al, 2008) as principais vantagens na utilização de fibras naturais vegetais são:

- Fibras de vegetais são materiais renováveis e sua disponibilidade pode ser considerada ilimitada;
- Devido à enorme diversidade de plantas lenhosas e fibrosas que se pode encontrar na biodiversidade, existe enorme potencial para a descoberta de fibras naturais com propriedades desejáveis (resistência mecânica, estabilidade química e biológica, resistência

ao fogo, leveza, resistência à abrasão e ao cisalhamento, entre outras propriedades de interesse);

- As fibras naturais são menos abrasivas que as fibras artificiais usualmente utilizadas como reforços, como, por exemplo, fibra de vidro, e assim podendo diminuir o desgaste dos equipamentos envolvidos no seu processamento;

- São materiais biodegradáveis, características cruciais para componentes que, após esgotar a sua vida útil, devem ser descartados;

- Compósitos reforçados com fibras naturais, que também utilizam matrizes biodegradáveis, são considerados os materiais menos agressivos ao meio ambiente e podem ser compostados ao final de sua utilização;

- Possuem baixa densidade e alta deformabilidade se comparadas com materiais similares neste campo de aplicação;

- Apresentam baixo custo, em relação aos reforços atualmente empregados.

Ao empregar recursos renováveis, amplamente disponíveis localmente, o Brasil se destaca mundialmente pela produção de fibras vegetais, incentivando e beneficiando o país, bem como o produtor rural (SILVA et al, 2009).

Como limitações do emprego de fibras naturais na fabricação de artigos têxteis está sua variabilidade natural decorrente de variedade da espécie, região de cultivo, condições climáticas, tipos de solo e fase de crescimento da planta dentre outros fatores (LEÃO, 2008). Por outro lado, fibras artificiais podem ser produzidas com formato transversal, espessura e comprimento pré-determinados, com um rígido controle de qualidade desde a matéria-prima até o produto final, garantindo que os diversos lotes de fibras tenham características com o mínimo de variabilidade. Em adição, a preferência por fibras artificiais leva em conta fatores como preço e, via de regra, maior durabilidade (PITA, 1996).

Com relação a produção de compósitos, uma das principais limitações de emprego de fibras naturais é a impossibilidade de processamento de polímeros carregados com reforços lignocelulósicos em temperaturas acima de 200 °C, devido à susceptibilidade dessa carga sofrer degradação térmica (MACHADO et al, 2010). Ainda outra limitação ao uso de fibras naturais como reforços em matrizes termoplásticas, de modo a obterem-se materiais compósitos com propriedades mecânicas e estabilidade dimensional melhoradas, é a pequena molhabilidade e a fraca ligação interfacial com o polímero, devido a pouca compatibilidade entre as fibras celulósicas hidrofílicas com os termoplásticos hidrofóbicos (IOZZI et al, 2010).

2.7.1. Fibras vegetais na fabricação de compósitos

Compósitos podem ser definidos como materiais de moldagem estrutural, formados por uma fase contínua polimérica (matriz) e reforçada por uma fase descontínua (fibras) que se agregam físico-quimicamente. O material utilizado na fase descontínua é selecionado dependendo da aplicação final. Podem ser usados como matéria para fase descontínua diversos materiais, como fibra de vidro, aramida, fibra de carbono ou fibras naturais vegetais (ALMACO, 2013).

A fase matriz pode ser um metal, um polímero ou um cerâmico, que confere estrutura ao material compósito preenchendo os espaços vazios que ficam no reforço e mantendo-o na sua posição. A fase dispersa ou reforço existe em diversas formas sendo a classificação mais geral feita em três categorias: compósitos particulados, compósitos de fibras descontínuas (*whiskers*) e compósitos de fibras contínuas. No geral, os constituintes do reforço dos compósitos proporcionam força e rigidez, mas também aumentam a resistência ao calor, corrosão e condutividade. O reforço pode ser feito para facultar todas ou apenas uma destas características dependendo dos requisitos exigidos pelo novo material. Para o reforço representar uma vantagem para o compósito este deve ser mais forte e rígido que a matriz e deve ser possível a sua troca quando se notar qualquer falha como vantagem. Deste modo a boa interação entre matriz e reforço pode ser garantida pela criação de uma interface entre ambos que possa adequar a rigidez do reforço com a ductilidade da matriz. Para tal é essencial que a ductilidade da matriz seja mínima ou mesmo nula para que o compósito apresente um comportamento relevante (VENTURA, 2009).

A disposição pós-uso de resíduos de fibras sintéticas e materiais poliméricos reforçados com fibras em aterros dos polos têxteis tem acarretado problemas para o meio ambiente. Uma alternativa proposta para minimizar o problema é o desenvolvimento de materiais obtidos a partir de fontes renováveis, tais como compósitos formados de fibras naturais (FINKLER et al, 2005).

Nos últimos anos, o interesse mundial pelo desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitem a utilização de produtos com menor impacto ambiental tem ganhado maior destaque e importância. Neste contexto os materiais plásticos sintéticos são a principal questão, uma vez que originam várias variáveis que devem ser destacadas, principalmente a não biodegradabilidade e a dificuldade de reciclagem, o que acaba por gerar um grande acúmulo desse tipo de material em depósitos, lixões e na própria natureza (MARINELLI et al, 2008).

Segundo Corradini et al, (2008), é devido à busca por materiais não agressivos ao meio ambiente que o desenvolvimento de compósitos poliméricos envolvendo o emprego de fibras vegetais e polímeros naturais vêm crescendo cada vez mais.

Grandes investimentos têm sido feitos por instituições na utilização de fibras e resíduos vegetais para a produção de compósitos poliméricos, apresentando uma série de vantagens, dentre as quais se destacam: melhoria do desempenho mecânico de plásticos convencionais, diminuição do impacto ambiental, biodegradabilidade, reciclabilidade e menor custo. Vários estudos também estão sendo feitos visando à otimização do desempenho mecânico e térmico dos compósitos reforçados com diferentes tipos de fibras vegetais para viabilizar sua aplicação tecnológica em indústria de diversos ramos: automobilístico, construção civil, madeira, móveis, entre outros (MATTOSO, 1999).

Imprimir novas propriedades aos materiais é o objetivo da preparação de materiais compósitos, por seu um material multifásico, exibe, além das propriedades inerentes de cada constituinte, propriedades que surgem da combinação destes em consequência da formação de uma região interfacial. As fases dos compostos são chamadas de matriz (cerâmica, polimérica ou metálica) e de fase dispersa (frequentemente fibras ou outro material que sirva como carga); a primeira geralmente é um material contínuo que envolve a segunda. As características dos compósitos são uma função de fatores como a geometria da fase dispersa, orientação, distribuição e também da compatibilidade interfacial entre os constituintes, por essa razão é muito importante conhecer as propriedades físicas e químicas dos materiais que serão utilizados (NETO, 2006).

O uso de fibras vegetais em compósitos não é novo. Por décadas tecidos de compósitos de algodão/epóxi têm sido usados como isolamento; compósitos de juta/fenólicos têm sido usados em peças de atrito e desgaste; e madeira picada/termoplásticos, em compostos para folhas de moldagem. Avanços recentes incluem o lançamento de polipropileno combinado com resíduos de papel para moldagem por injeção, o desenvolvimento de pultrudados (perfis estruturais de engenharia) de juta/fenólico, e um grande número de empresas produzindo compósitos de fibras vegetais/termoplásticos (BOLTON, 1997).

Quando unificadas aos plásticos, as fibras naturais podem ser processadas por praticamente todos os métodos convencionais de processamento de plásticos (extrusão, injeção, calandragem e prensagem) e possuem densidade menor que as fibras inorgânicas tais como as fibras de vidro. Em termos nacionais, o Brasil é um dos países com maior diversidade de plantas e com a maior extensão territorial cultivável do mundo, cujo

potencial deve ser mais bem explorado. E o interesse crescente pelo uso de materiais “ecologicamente corretos” faz com que as fibras vegetais retomem o espaço perdido para as sintéticas em vários setores (MEDINA, 1959; MEDEIROS; MATTOSO; CARVALHO, 2002).

Cada vez mais os materiais compostos de fibras vegetais têm mostrado suas diversas aplicações na construção civil, na indústria de móveis e embalagens e em componentes automotivos (SILVA, 2003). A aplicação de materiais lignocelulósicos como um componente de reforço em compósitos poliméricos tem recebido uma maior atenção, particularmente por causa de seu baixo preço e peso específico, principalmente na indústria automobilística (PAIVA; TRINDADE; FROLLINI, 1999; ROZMAN, et al, 1998). Esta tem mostrado grande interesse em produzir veículos com todos os componentes recicláveis ou biodegradáveis. Outro fator de destaque está ligado às reduções de custo e peso dos veículos (SILVA, 2003).

As principais fibras e cargas naturais (que tem origem residual ou não) mais citadas na literatura como modificadores em potencial de polímeros termoplásticos são (MARINELLI et al, 2008):

- Dentre as fibras brasileiras destacam-se o sisal, coco, juta, rami, carauá, fibra de bagaço de cana-de-açúcar e soja;
- Índia, Estados Unidos, Indonésia, Malásia, África do Sul, Vietnã e Tailândia usam constantemente fibras de kenaf, ao passo que Canadá, França, e China são as maiores produtoras das fibras de *hemp* (cânhamo);
- Amidos e polímeros naturais similares são interessantes matérias-primas para serem utilizadas como matriz em biocompósitos devido a sua biodegradabilidade e baixo custo (CORRADINI et al, 2008).
- Resíduos de madeira;
- Casca de arroz, trigo e outros cereais.

De acordo com Chandramohan e Marimuthu (2011), as fibras vegetais, quando comparadas com as outras fibras naturais apresentam como principais vantagens:

- Baixo peso específico, o que resulta em uma maior resistência específica e rigidez do que a fibra de vidro;
- É uma fonte renovável, visto que sua produção requer pouca energia e o CO₂ é utilizado enquanto o oxigênio é liberado de volta para o meio ambiente;

- Possui baixo custo e, conseqüentemente, baixo investimento, o que torna o produto viável para produção em países menos desenvolvidos;
- Reduz o desgaste de ferramentas;
- Não apresenta toxicidade promovendo uma condição de trabalho mais saudável;
- A reciclagem térmica destes materiais é possível, ao passo que o vidro causa problemas em fornos de combustão;
- Possui boas propriedades térmica, acústica e isolante.

A título de conhecimento, segue a **Tabela 2.2** com principais valores das propriedades mecânicas de fibras naturais e fibras convencionalmente utilizadas como reforço em compósitos.

Tabela 2.2. Valores de densidade e propriedades mecânicas de fibras naturais e fibras convencionalmente utilizadas como reforço em compósitos (MARINELLI et al., 2008).

Fibra	Densidade (g/cm ³)	Alongamento (%)	Tensão na ruptura (MPa)	Módulo de Young (GPa)
Algodão	1,50-1,60	7,0-8,0	287-597	5,5-12,6
Juta	1,30	1,5-1,8	393-773	26,5
Rami	-	3,6-3,8	400-938	61,4-128
Linho	1,50	2,7-3,2	345-1035	27,6
Sisal	1,50	2,0-2,5	5511-635	9,4-22,0
Fibra de coco	1,20	3,0	175	4,0-6,0
Vidro-E	2,50	2,5	2000-3500	70,0
Vidro-S	2,50	2,8	4750	86,0
Aramida (normal)	1,40	3,3-3,7	3000-3150	63,0-67,0
Carbono (padrão)	1,40	1,4-1,8	4000	230-240
Curauá	1,40	4,2	890-4200	50,4

Atualmente ocorre um interesse muito grande na substituição de fibras de amianto (com potencial carcinogênico) por outros materiais na produção de produtos fibrocimentícios tais como telhas onduladas, caixas d'água e outras aplicações de construção civil. As fibras naturais, como reforço de matrizes frágeis à base de materiais cimentícios, têm despertado grande interesse, por causa de seu baixo custo, disponibilidade, economia de energia e também no que se refere às questões ambientais. Os resíduos gerados pela agroindústria brasileira da fibra vegetal constituem importante fonte de matéria-prima para a produção de componentes construtivos. Esses recursos são abundantes e disponíveis, além de representarem estratégia para o reaproveitamento de resíduos. O emprego dos compósitos em placas, telhas de cobertura e componentes pré-fabricados, pode representar significativa contribuição para o rápido crescimento da

infraestrutura dos países em desenvolvimento. O uso de fibrocimentos que utilizam polpa celulósica como reforço, tem sido consagrado, graças a constantes aperfeiçoamentos de matérias-primas, processos produtivos com consumo racionalizado de energia e custos de investimento cada vez menores (SAVASTANO; SANTOS, 2008). Nesse sentido, um aspecto importante, estudado por Aggarwal e Singh (1990), é o retardamento da pega do cimento, pela presença de substâncias de caráter ácido, liberadas pela fibra vegetal em solução aquosa. Por outro lado também o uso de fibras celulósicas em materiais fibrocimentícios também é dificultado pela falta de resistência dessas ao contato contínuo com a alcalinidade da matriz cimentícia, sendo que no caso da água presente nos poros de cimento Portland, o pH é superior a 13 (SAVASTANO JR., 2000). Entretanto esse mesmo autor pré-selecionou, com base em pesquisa de campo, alguns resíduos, em condições de disponibilidade imediata, para uso na construção civil: (a) bucha de campo do sisal; (b) bucha de máquina da produção de *baler twine* (fio de enfardamento feito de sisal); (c) fibrinhas extraídas do pó residual do coco; (d) rejeito de celulose de eucalipto; (e) fibra do pseudocaulo da bananeira. Além disso, desenvolveu com relativo sucesso telhas de cobertura reforçadas com 5% (em massa de cimento) de fibra residual de celulose de *Eucalyptus grandis* e matriz de pasta de: 95% de cimento Portland CPIII-RS com 5% de sílica ativa; e 88% de escória de alto-forno ativada com 2% de cal hidratada CH-I e 10% de gipsita. Os resultados dos ensaios mecânicos atenderam à carga mínima de 550 N (85% de 650 N, para telhas saturadas) (SAVASTANO; SANTOS, 2008).

2.8. Capacidade produtiva brasileira dentro do setor Têxtil e de Confecções

O Brasil vem crescendo economicamente, em 2007 com o setor têxtil investiu US\$ 500 milhões, tornando a indústria têxtil responsável por 17,5% do Produto Interno Bruto (PIB), e assim o país se tornou um dos maiores parques fabris do planeta e está na lista dos 10 principais mercados mundiais da indústria (**Tabelas 2.3 e 2.4**) (POLTEX, 2009).

Segundo Diniz Filho (2012), a Indústria Têxtil e de Confecção Brasileira é muito mais abrangente do que se pensa, indo além do vestuário, que é considerado o principal bem final da cadeia produtiva. Em 2011 a Indústria Têxtil obteve um faturamento anual de R\$ 90 Bilhões. Com 30 mil empresas em atividade no setor, gerou cerca de 8 milhões de empregos diretos e indiretos.

Tabela 2.3. Produção Mundial de Têxteis em 2009 (IEMI, 2011).

País	Têxteis (ton)	Participação(%)
China	33.231.000	48,78
Índia	5.500.000	8,07
Estados Unidos	3.620.000	5,31
Paquistão	2.660.000	3,90
Brasil	2.089.000	3,07
Indonésia	1.853.000	2,72
Taiwan	1.682.000	2,47
Coreia do Sul	1.327.000	1,95
Turquia	1.283.000	1,88
Tailândia	874.000	1,28
México	739.000	1,08
Itália	732.000	1,07
Bangladesh	618.000	0,91
Rússia	475.000	0,70
Alemanha	466.000	0,68
Outros	10.979.000	16,12
Total	68.128.000	100,00

Tabela 2.4. Produção Mundial de Vestuário em 2009 (IEMI, 2011).

País	Vestuário (ton)	Participação %
China	19.709.000	48,96
Índia	2.819.000	7,00
Paquistão	1.535.000	3,81
Brasil	1.169.000	2,90
Turquia	1.070.000	2,66
Coreia do Sul	968.000	2,40
Itália	968.000	2,40
México	951.000	2,36
Malásia	651.000	1,62
Polônia	622.000	1,55
Taiwan	578.000	1,44
Romênia	518.000	1,29
Tailândia	453.000	1,13
Sri Lanka	450.000	1,12
Indonésia	445.000	1,11
Outros	32.906.000	81,74
Total	40.258.000	100,00

Por meio dos dados referentes aos anos de 2010 e 2011, é possível constatar que o setor têxtil e de confecção brasileiro tem destaque no cenário mundial não apenas por seu profissionalismo, criatividade e tecnologia, mas também pelas dimensões de seu parque têxtil: é a quinta maior indústria têxtil do mundo e a quarta maior em confecção, conforme se verifica nas **Tabelas 2.3 e 2.4**; o segundo maior produtor de denim e o terceiro na produção de malhas. Autossuficiente na produção de algodão e com investimentos significativos na produção de fibras químicas. O Brasil produz 9,8 bilhões de peças

confeccionadas ao ano, permanecendo como referência mundial em *beachwear*, *jeanswear* e *homewear*. Entre 2010 e 2011, foram investidos cerca de US\$ 5 bilhões pelas indústrias do setor (CNI, 2012).

Apesar de os materiais sintéticos serem muito usados no lugar dos produtos naturais por conta do preço e de sua maior durabilidade, os produtos originários de plantas continuam a ter alguns atributos superiores a estes. Existem seis grupos principais de classificação das fibras, que levam em consideração o seu uso final (LEGNER, 2011):

- Fibras têxteis são extremamente importantes, uma vez que são utilizadas para fabricar tecidos, cordas, cordões e redes, para isso elas são torcidas em fios ou filamentos e então utilizadas. Na classificação de tecido inclui-se vestuário, uso doméstico, toldos, e até materiais mais grossos como juta e serapilheira (camada formada pela deposição e acúmulo de matéria orgânica morta em diferentes estágios de decomposição que reveste superficialmente o solo ou o sedimento aquático) (ESPIG et al, 2009);

- Fibras de escova são fibras duras, incluindo troncos e galhos que são utilizados para fazer vassouras e escovas;

- Tecelagem áspera e fibras trançadas são formadas por cordas fibrosas e flexíveis, que são entrelaçadas para fazer chapéus, cestos, sandálias, assentos, etc. Quando são mais elásticos podem ser utilizados para tapetes e em telhados para casas, as fibras lenhosas ou galhos flexíveis são para cadeiras, cestas de vime e outros;

- Fibras de preenchimento são usadas como, por exemplo, enchimento de colchões e almofadas, para calafetagem em barcos e em tonéis e barris, como reforço de gesso ou material de embalagem;

- Tecidos naturais são geralmente obtidos da entrecasca das árvores extraídas em camadas ou folhas e desfiadas em substitutas grosseiras para redes e roupas;

- Fibras para fabricação de papel incluem fibras têxteis e fibras de madeira que são utilizadas tanto em sua forma crua como modificada.

Uma fibra produzida por determinada espécie não pode estar restrita totalmente a um único grupo, pois ela pode ser usada para os mais diversos propósitos. Ao mesmo tempo, uma planta pode produzir mais de um tipo de fibra. As fibras naturais extrapolaram sua utilização tradicional como fio para amarrar fardo de feno, material para embalagens, tapetes e mantas. Hoje elas se combinam com as fibras sintéticas na fabricação de móveis diversos, na confecção de painéis automobilísticos, nas indústrias náutica e aeronáutica e até na substituição do cimento amianto, até então utilizado para fabricar telhas, paredes e caixas d'água. Ainda assim, a atenção para a produção de fibras naturais se intensificou

quando o ano de 2009 foi intitulado pela ONU como o Ano Internacional das Fibras Naturais; desde então os produtos extraídos principalmente do sisal, piaçava, algodão e coco, produzidos em larga escala na região do semiárido baiano, se expandiram pelo mundo, principalmente devido aos novos usos da matéria-prima (BRAZILIAN FIBRES, 2012).

2.9. Fibras vegetais de espécies de Malvaceae

Malvaceae é uma família predominantemente tropical compreendendo 250 gêneros e 4.200 espécies. No Brasil, a família abrange cerca de 80 gêneros e 400 espécies (GRINGS et al, 2011). O líber da maioria das espécies da família Malvaceae é rico em fibras mais ou menos finas, longas e resistentes, o que as torna apropriadas para manufatura de cordame, aniagem (para fardos e sacos), tecidos grosseiros e papel. Essas fibras são muito semelhantes à juta, fazendo com que possam ser destinadas ao mesmo fim (MEDINA, 1959).

As fibras empregadas no presente estudo são pertencentes a esta família, a saber:

2.9.1. *Sida rhombifolia* L.

- Nome científico: *Sida rhombifolia* L.
- Sinonímias: *Malva rhombifolia* (L.) E. H. L., *Sida adusta* Marais, *Sida compressa* Wall., *Sida hondensis* Kunth., *Sida pringlei* Gand., *Sida retusa* L., *Sida rudrata* Macfad. e *Sida unicornis* Marais (MEDINA, 1959).
- Nomes vulgares: *cuban jute* e *malva de cochino* em Cuba; *huinari* no México; *sida* e *tea plant* nos Estados Unidos; *Queensland hemp* na Austrália; *kakétingou* na África Equatorial Francesa; *ualis-ualisan* nas Filipinas; *swet bariala* na Índia; *kingojikwa* no Japão (MEDINA, 1959).
- Nomes vulgares no Brasil: vassourinha; relógio, relógio-grande, malva-relógio (MEDINA, 1959); guanxuma; malva-preta, guaxima, malva, vassoura-do-campo, caapiá (DI STASI; HIRUMA-LIMA, 2002).
- Porte: Chega até 2 m de altura, é bastante ramificada, de caule verde a vermelho escuro. Sua flor é pequena e pode ser branca ou amarelada, a floração ocorre nos meses de dezembro e abril. A planta não é muito exigente quanto à riqueza do solo, mas para bom desenvolvimento necessita de solos pouco compactos e profundos. Sua semeadura deve ocorrer no início da estação de chuvas e pode-se cultivá-la sob as mesmas condições

indicadas para a juta. A cultura dura cerca 5 anos consecutivos (CORRÊA, 1984; MEDINA, 1959).

- Floração/Frutificação: floresce geralmente de março a junho e de outubro a janeiro, frutificando nos meses de abril a julho e de outubro a março (MEDINA, 1959).
- Usos: É uma espécie infestante em diversas culturas, como pastagens e áreas desocupadas. Dificulta a colheita mecânica em culturas anuais, pelos caules muito resistentes. Pode ser hospedeira de um micoplasma, que causa a doença conhecida como “virose das *malváceas*”. Conforme esses autores, esta espécie tolera solos pouco férteis e ácidos, mas seu desenvolvimento é limitado (FLORASBS, 2011; NATURDATA, 2011).

De acordo com Medina (1959):

[...] Várias espécies de *Sida* fornecem excelentes fibras liberianas, que muito se assemelham na composição química e nas qualidades têxteis à juta. Em fineza são-lhe similares sendo, porém, consideradas mais macias. Se bem que sejam legítimas sucedâneas da juta, nenhuma espécie de *Sida* foi, até o presente, cultivada em escala comercial para produção da fibra. Supõe-se que as maiores dificuldades para extração da fibra do caule, que é mais tenro que a medula dura e lenhosa do caule da juta, aliadas à produção menor de fibras por unidade de área, sejam os fatores que tenham contribuído ao desinteresse pela sua cultura como planta têxtil.

No entanto, no Brasil há muitas *Sidas* nativas, todas consideradas infestantes, devido à alta agressividade, e com pouco ou nenhum valor comercial, apesar de algumas serem utilizadas na fitoterapia popular ou substituírem a juta na confecção de cordas e sacos de aniagem, devido às fibras resistentes (contudo há baixo rendimento). Na década de 30, na Índia foi estimulada a produção de *Sida rhombifolia* L. para a obtenção de fibras. No Sudão Francês, ela é utilizada pelos nativos para fazer grandes redes de caçar através de cordéis; na África Oriental, as fibras viram linhas e redes de pesca e seu caule, vassouras; já na indústria têxtil argentina, a fibra poderia ser empregada na manufatura de *piolines* (tipo de cordame fino), ou *fibra patente*, dentre outros nomes, o qual utiliza uma proporção de 5 a 10% de cânhamo. Pode substituir a juta em todos os seus usos finais e ensaios na Austrália demonstraram que a *Sida rhombifolia* resulta em um papel de alta resistência, podendo ser usado para fins como bilhetes de Tesouro e notas de Banco (MEDINA, 1959).

Dados da medicina tradicional indicam que na região amazônica, as folhas são usadas como emolientes. Na Mata Atlântica, a decocção das folhas de uma espécie desse gênero, chamada de “Caapiá”, é de grande uso externo contra reumatismo. Em outras regiões do país, como Minas Gerais, a planta é utilizada como emoliente, tônica, febrífuga e estomacal. O chá de toda a planta, na dose de três xícaras ao dia, é tido como útil, no Rio Grande do Sul, contra desarranjo menstrual, pedra nos rins e como fortificante (DI STASI; HIRUMA-LIMA, 2002). Em adição, Kumar e Mishra (1997) realizaram estudos em ratos relatando atividade antiinflamatória e hepatoprotetora de *Sida rhombifolia* Linn.

Atualmente, a pesquisa do uso das fibras dessa espécie em compósitos vem sendo desenvolvida na Índia e China. Trabalho recente (RATIKANTA; NARAYANAN; HIMADRI, 2010) relata que fibras de diversas espécies podem ser utilizadas para produzir: (i) compósitos; (ii) têxteis técnicos, industriais e domésticos, incluindo não tecidos, (iii) itens automotivos, (iv) geotêxteis, (v) biocompósitos, (vi) polpa. Dentre as espécies fornecedoras de fibras de boa qualidade são citadas: *Hibiscus vitifolius*, *Malachra capitata*, *Urena lobata*, *U. sinuata* e *Sida rhombifolia*.

A fibra de *Sida rhombifolia* é sedosa e brilhante como a juta; no entanto, mais fina, branca e resistente, o que a torna uma ótima alternativa a esta. Contudo a produção de fibras por unidade de área é menor, o que a coloca em desvantagem competitiva, sendo aconselhada talvez para regiões onde a juta não é indicada (MEDINA, 1959).

A fibra de *Sida rhombifolia* L. é superior à juta em razão de seu alto teor de celulose como se pode constatar nos dados comparativos da **Tabela 2.5** (MEDINA, 1959).

Tabela 2.5. Comparativo de composição de fibras de Juta e *Sida* (MEDINA, 1959).

	Juta (%)	<i>Sida</i> (%)
Umidade	10,3	10,7
Cinzas	1,2	0,6
Perdas da hidrólise		
Alfa	15,0	6,6
Beta	18,0	12,2
Perda na mercerização	16,0	6,6
Perda na purificação ácida	1,0	0,3
Celulose	75,0	83,1

- Distribuição geográfica: É uma espécie cosmopolita tropical (**Figuras 2.9a e 2.9b**). Entretanto, referência mais recente reporta a espécie como planta nativa do continente americano. No Brasil, é encontrada na Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica,

Pampa e Pantanal. Provavelmente seja a espécie de Malvaceae com mais ampla distribuição no mundo. Ocorre em todo o território brasileiro, Norte (Roraima, Amapá, Pará, Amazonas, Tocantins, Acre, Rondônia), Nordeste (Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Bahia, Alagoas, Sergipe), Centro-Oeste (Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso do Sul), Sudeste (Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Rio de Janeiro), Sul (Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul) (BOVINI; CARVALHO-OKANO; VIEIRA, 2010); (BIANCO; CARVALHO; BIANCO, 2008).



Figura 2.9. (a) Foto da espécie e (b) prancha de *Sida rhombifolia* (SOUTHEASTERN FLORA, 2012).

2.9.2. *Sida carpinifolia*

- Nome científico: *Sida carpinifolia*
- Nomes vulgares: Malva-baixa, guaxuma, relógio, tupiticha, vassoura, vassourinha.
- Usos: É uma planta daninha muito comum em pastagens, beira de estradas e áreas abandonadas na região Sul do Brasil. Parece apresentar preferência por áreas próximas de currais e estábulos, pois estes locais são ricos em matéria orgânica.

Esta planta é utilizada também para fins medicinais, acredita-se que o extrato de *Sida cordifolia* é eficaz para aliviar a febre e a asma, e antibacteriano (MEDICINALPLANTS-KR.ORG, 2012). Utilizam-se suas fibras para a fabricação de cordas e, seus caules para a fabricação de vassouras e cestas (OSWALDASIA, 2012).

Entretanto, *Sida carpinifolia* tem como substância ativa tóxica o alcalóide indolizidínico 1,2,8-triol, também chamado de “swainsonina”. Foram efetuados estudos clínicos e patológicos da doença armazenamento lisossomal induzida pelo consumo

espontâneo de *Sida carpinifolia* por caprinos e ovinos. Clinicamente, a doença caracterizou-se por distúrbios neurológicos que consistiam de ataxia, hipermetria, posturas anormais, tremores musculares afetando principalmente as regiões da cabeça e pescoço, dificuldade para ingestão de alimentos e quedas freqüentes (SEITZ et al, 2005; COLODEL et al, 2002).

- Tipo: nativa, não endêmica do Brasil.
- *Habitat*: Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, na Floresta Ombrófila Densa e Mista e na Floresta Estacional Decidual e Semidecidual.
- Distribuição geográfica: Norte (Pará, Tocantins), Nordeste (Maranhão, Piauí, Ceará, Pernambuco, Bahia), Centro-Oeste (Goiás), Sudeste (Minas Gerais), Sul (Santa Catarina). Conhecida também por guanxuma e chá-da-índia, tem distribuição pantropical e é frequente em locais úmidos e sombreados das Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil (**Figuras 2.10a e 2.10b**). É uma planta subarborescente, perene, ereta, com 0,3 a 0,7 m de altura que se propaga por sementes (LORENZI, 2000).



(a)



(b)

Figura 2.10. (a) Foto da espécie e (b) prancha de *Sida carpinifolia* (FOURDRIGNIEZ, 2010).

2.9.3. *Sida cordifolia* L.

- Nome científico: *Sida cordifolia* Linn.
- Nomes vulgares: *albaháca* nas Filipinas; *escoba acorazonada* em Porto Rico; *kahembia-humbia* em Angola; *ren* em árabe; *bala* na Índia; *country mallow* nos Estados Unidos (MEDINA, 1959).
- Nomes vulgares no Brasil: *guanxuma-branca* (BIANCO; CARVALHO; BIANCO, 2008); *malva*, *malva-branca* e *malva-veludo* (MEDINA, 1959).

- **Porte:** É um arbusto ereto que alcança de 1 a 1,5 metros de altura a até 2 metros ou mais, do seu caule extraem-se fibras sedosas, brancas e brilhantes, muito propícias para cordoalha, aniagem, tecidos diversos e papel, apesar de suas excelentes qualidades, não obteve sucesso comercial, o que acontece em geral com todas as *Sidas* (MEDINA, 1959).
- **Floração:** ao longo do ano. As folhas da *Sida cordifolia* mostraram na superfície adaxial número pequeno de tricomas (apêndices da epiderme), possuindo predominantemente tricomas simples (não ramificados) e/ou com duas ramificações, bem como tricomas glandulares simples e curtos (ALBERT; VICTORIA FILHO, 2002).
- **Usos:** Esta espécie é utilizada na medicina popular para o tratamento da inflamação da mucosa oral, gonorreia, bronquite asmática e congestão nasal (FRANZOTTI et al, 2000). Autores brasileiros (NUNES et al, 2006) realizaram a análise da atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Sida cordifolia*, o qual mostrou atividade inibitória contra os microrganismos testados com eficácia de 80 %. Kanth e Diwan (1999) relataram ações analgésica, anti-inflamatória e antiglicêmica para a espécie.
- **Habitat:** nativa da América tropical distribui-se em muitas regiões tropicais do mundo e se propaga tão rápido que é considerada uma erva-daninha. Ocorre geralmente em solos danificados por chuvas pesadas, calor excessivo e pastagem não controlada (VIRBOGA, 2011).

É uma planta nativa da América tropical (**Figuras 2.11a e 2.11b**). Atualmente encontra-se em diversas regiões de clima tropical e subtropical. Nas Américas, ocorre do sul dos Estados Unidos até a Argentina. No Brasil, ocorre em todos os Estados, com maior concentração na Amazônia, Minas Gerais, São Paulo e norte do Paraná (BIANCO; CARVALHO; BIANCO, 2008). Na África Ocidental a população nativa utiliza seu caule na confecção de vassouras (MEDINA, 1959). É uma planta daninha infestante de pastagens e culturas diversas, sendo muito agressiva em solos férteis (BIANCO; CARVALHO; BIANCO, 2008).
- **Distribuição geográfica:** partes tropicais e subtropicais da Índia, Brasil, Nepal, China, Nigéria e Camboja (BIANCO; CARVALHO; BIANCO, 2008).

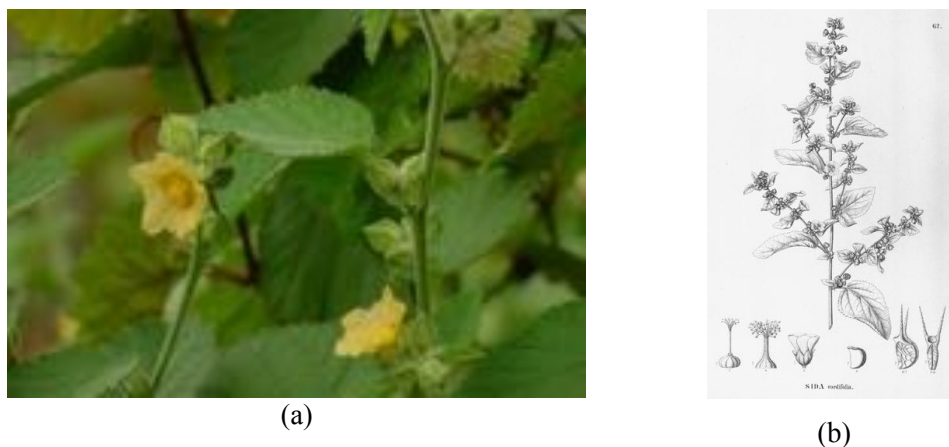


Figura 2.11. (a) Foto da espécie e (b) prancha de *Sida cordifolia* (ALVES et al, 2011).

Em 1952, Lejeune¹ estudou *Sida cordifolia* obtendo os seguintes dados (MEDINA, 1959):

- Altura das plantas (m).....1,10 – 1,40
- Produção de caules verdes enfolhados (kg/ha).....20.625
- % de fibras.....4,18
- Duração da maceração (dias).....6
- Produção de fibras secas (kg/ha).....862

Após 10 dias de maceração o resultado dos exames químicos são os seguintes (MEDINA, 1959):

- Fibras (% na matéria vegetal)..... 2,6
- Cinzas (%).....2,20
- Pentosanas (%).....18,10
- Lignina (%).....7,82
- Celulose (%).....58,14

¹ Lejeune, J.B.H. **Quelques plantes médicinales spontanées (utilisées par les indigènes du Ruanda-Urundi)**. Servir, (Groupe scolaire Astrida), 1, 4, 20 - 25 & 1, 5, 26 - 31, (1940).

2.9.4. *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell

- Nome científico: *Sidastrum paniculatum* L.
- Sinonímias: *Sida paniculata* L.
- Nome vulgar: *panicled sandmallow*
- Nomes vulgares no Brasil: malva-roxa, malvavisco (CAVALCANTE et al., 2010; NOGUEIRA et al., 2006).
- Porte: é um arbusto perene, heliófilo e higrófilo, ocorrendo desde altitudes ao nível do mar até altitudes em torno de 3 metros (**Figuras 2.12a e 2.12b**).
- Usos: Há registros que o extrato dessa planta já foi utilizado para minimizar efeitos de picadas de ofícios da espécie *Bothrops* (TORRES DE SOSA et al. 2004).

Recentemente foi realizado um estudo científico químico farmacológico com a espécie *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell (CAVALCANTE et al, 2010). Nesse estudo, os autores relatam que o estudo fitoquímico do hexano, das fases CHCl₃ e EtOAc a partir do extrato etanólico bruto de *Sidastrum paniculatum* levou ao isolamento de seis compostos: uma mistura de β-sitosterol e estigmasterol, ácido 4-metoxi-3-hidroxibenzóico, 4-metoxi-3-hidroxibenzaldeído, N-trans-feruloiltiramina e kaempferol-3-O-β-D-(6"-EP-coumaroyl)-glicosídeo. Segundo os autores, a mistura de β-sitosterol e estigmasterol mostrou uma significativa atividade anti-inflamatória.

Em adição, outro estudo (SILVA et al, 2010), relata a quimiotaxionomia de ácidos graxos em espécies de Malvaceae. Segundo esses autores, *Malvales* é uma ordem de plantas com flores com uma circunscrição controversa. As relações entre os táxons, particularmente Malvaceae, Bombacaceae, Sterculiaceae e Tiliaceae não estão bem delineados. Vários estudos relataram a composição de ácidos graxos de plantas da família *Malvaceae*, mas não para fins taxonômicos. O perfil de ácidos graxos mostrou que havia dois grupos distintos: as espécies ricas em ácido palmítico (*Herissantia tiubae*, *Sidastrum paniculatum* e *Sida rhombifolia*) e as espécies ricas em ácido linoleico (outras espécies de *Sida*). Segundo esses autores, os dados obtidos suportam uma distinção entre a *Sida* e *Sidastrum*, no entanto mais espécies devem ser analisadas para avaliar o real valor taxonômico de diferenças no conteúdo de ácidos graxos para distinguir espécies da família Malvaceae.

- Domínios fitogeográficos: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica (BOVINI, 2010; ITIS, 2011).

- Distribuição geográfica: É um arbusto com ampla distribuição nos neotrópicos. Por um longo tempo essa espécie pertenceu ao gênero *Sida*, como *Sida paniculata* L., e foi transferida para *Sidastrum* por Fryxell (CAVALCANTE et al., 2010).

No Brasil, a região Nordeste é a que apresenta o maior número de representantes do gênero *Sidastrum*, sendo provavelmente o centro de diversidade do gênero no país (NOGUEIRA et al., 2006; GOMES; BATISTA, 2007). Entretanto, também há ocorrência desse gênero no Centro-Oeste (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul) e Sudeste (Minas Gerais, Rio de Janeiro).



(a)



(b)

Figura 2.12. (a) *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell (MUSEO VIRTUAL DE LA BIODIVERSIDAD DE LA PROVINCIA DE MISIONES ARGENTINA, 2012). (b) Exsicata da espécie (THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN, 2013).

2.9.5. *Malvastrum coromandelium* (L.) Gurck

- Nome Científico: *Malvastrum coromandelianum* L.
- Sinonímias: *Malvastrum carpinifolium* A. Gray.; *M. tricuspdatum* (R. Brown) A. Gray., *M. diminguisis* Spring. M.
- Nomes vulgares no Brasil: guanxuma, falsa-guanxuma, guaxima, malvastro, vassourinha, vassoura (LORENZI, 2008).
- Porte: Herbácea ou subarborescente (**Figuras 2.13a e 2.13b**), anual ou perene, ereta, ramificada, de caule piloso, com flores vistosas amarelas que se abrem apenas pela manhã. Alcança até 60 cm de altura.
- Florescimento: Ano todo (BANCO DE DADOS CPMA, 2011; FLORASBS, 2011).
- Usos: Planta daninha, frequente em solos cultivados, infestando pastagens, lavouras, pomares e terrenos baldios. É muito comum na região Centro-Sul do Brasil. É capaz de formar densas infestações, dominando por completo a cultura anual infestada

(LORENZI, 2008). Morato e Campos (2000) relatam a procura dessa espécie por abelhas na região de Viçosa (MG).

Quanto a aspectos farmacológicos, Sebastian e Bhandari (1984) relatam que na Índia a decocção das folhas de *Malvastrum coromandelianum* (Linn.) Garcke (Ramchana, Bal) é administrada internamente para tratar icterícia.

Atualmente o begomovírus encontrado nessa espécie é bastante estudado, pois potencialmente pode se tornar prejudicial para outras espécies lavoráveis (HUANG; ZHOU, 2006; JIANG; ZHOU, 2005). Nesse sentido, destaca-se um estudo realizado no continente sul-americano sobre begomovírus associados às culturas da soja e feijoeiro (RODRIGUEZ-PARDINA; ZERBINI; DUCASSE, 2006).

- Distribuição: Norte (Amazonas), Nordeste (Ceará, Pernambuco, Bahia), Centro-Oeste (Goiás), Sudeste (Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Rio de Janeiro), Sul (Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul) (BOVINI, 2010).



(a)



(b)

Figura 2.13. (a) Foto da espécie *Malvastrum coromandelianum* (FLORASBS, 2011) e (b) Exsicata da espécie (THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN, 2013).

2.9.6. *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries

- Nome científico: *Wissadula subpeltata*.
- Nomes vulgares no Brasil: relógio de várzea, malvarisco-amarelo, malva-estrela, malva-taquari e malva-de-bico (LORENZI, 2008).
- Porte: São subarbustos eretos, de até 2,5 m de altura, com ramos cilíndricos, glabrescentes nos mais jovens. Possui lâminas de 1,8-10,5 cm de comprimento por 1,1-7,5 cm de largura, membranáceas, discolors cordiformes, base profundamente cordada, ápice levemente acuminado, margem ligeiramente ondulada, face ventral velutina, face dorsal

pubérula; pecíolo 0,7-5,5 cm de comprimento, glabrescente; estípulas ovadolanceoladas, cerca de 0,6 cm comprimento, pubescentes. As inflorescências frequentemente são terminais, às vezes axilares, em panículas laxas. As flores são com pedicelo de cerca de 2,5 cm comprimento; pubescentes; cálice 0,5 cm de comprimento, lacínias agudas, ciliadas, hirsutas em ambas as faces; corola de cerca de 1,0 cm de diâmetro, pétalas amarelas, base pilosa; tubo estaminal de cerca de 4,0 mm de altura, glabro; ovário 5 lóculos, 3 óvulos por lóculo, glabrescente; cinco estigmas. Os carpídios 5, cerca de 0,7 cm comprimento por 0,5 cm de largura, brevemente apiculados, faces laterais levemente nervadas. As sementes superiores são rugosas. A floração e frutificação são coletadas com flor e fruto no mês de maio. A espécie *Wissadula subpeltata* (Figura 2.14a e 2.14b) caracteriza-se pela lâmina foliar ovada, profundamente cordada, aparentando o aspecto peltado, pedicelo pubérulo e carpídios apiculados (BOVINI; CARVALHO-OKANO; VIEIRA, 2001).

- Distribuição: Bolívia, Paraguai, Argentina e Brasil nos Estados do Pará, Mato Grosso, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul. Marchini et al (2001) relatam a procura dessa espécie por abelhas africanizadas em localidades do Estado de São Paulo.

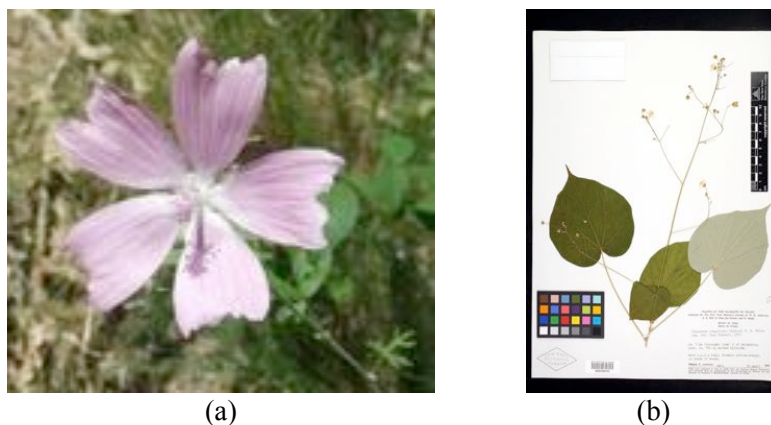


Figura 2.14. (a) Espécie *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R.E.Fries (b) Exsicata da espécie (THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN, 2011).

2.10. Caracterização de fibras vegetais

A caracterização das propriedades de fibras têxteis é realizada por diversos ensaios, os quais devem ser precisos, ter repetitividade de resultados e serem tanto simples e de fácil execução quanto possível (MOTTA, 2007).

No caso das fibras vegetais, por se tratar de material natural, as suas propriedades mecânicas variam consideravelmente de acordo com as características do solo e com as

condições climáticas do ambiente onde crescem as plantas. A idade da planta de onde as fibras são extraídas também influencia as propriedades mecânicas das fibras; fibras de plantas mais antigas tendem a apresentar resistência mais elevada do que aquelas extraídas de plantas mais jovens (COUTTS, 1988² *apud* MOTTA, 2007).

Algumas características das fibras são fundamentais para determinar o seu uso, tais como comprimento, capacidade de absorver ou não a umidade, resistência à tração, módulo elástico, dentre outras (PROCESSOS TÊXTEIS, 2012). No presente estudo, os ensaios fundamentais a serem realizados em fibras vegetais para caracterizá-las são os seguintes:

2.10.1. Maceração

A maceração é essencial para fibras vegetais, pois é por meio desse procedimento que as fibras são liberadas da planta. Trata-se de um processo biológico que consiste na deposição da planta, no caso o caule, em água para que a própria fermentação espontânea da matéria vegetal auxilie a liberação dos feixes fibrosos. Este processo pode durar cerca de quatro semanas, dependendo das características químicas e físicas da água (IMAI; NII, 2009). Esse método poderia também ser realizado por meio de maceração enzimática, o que diminuiria consideravelmente o tempo de tratamento das fibras (UENOJO, 2007).

2.10.2. Comprimento

O comprimento é um parâmetro muito importante nas dimensões de uma fibra, sobretudo no caso das fibras naturais em que se verifica uma significativa variabilidade. Em uma indústria de produção de fibras químicas, o comprimento não seria um problema, pois é possível fabricar fibras do tamanho desejado (SILVEIRA, 2011).

Entretanto, segundo o próprio autor, Silveira (2011), esta variação de comprimento das fibras naturais é muito vantajosa em termos de fiação. Esta é a razão pela qual as fibras sintéticas, que são produzidas em quilômetros de uma só vez, são cortadas em comprimentos semelhantes aos das fibras naturais. Além disso, não se cortam as fibras sintéticas do mesmo tamanho, e sim de forma a obter propositadamente certa variação, tal como nas fibras naturais, para que se consiga os melhores resultados para a fiação.

² COUTTS, R.S.P. Wood fibre reinforced cement composites. In: Swamy, R.N., ed. Natural fibre reinforced cement and concrete. **Concrete and Technology and Design**, Glasgow, Blackie, 1988. 5p. 1-62.

2.10.3. Ensaio Tensil de Tração

O ensaio tensil de tração mede o comportamento das fibras quando uma força de deformação é aplicada ao longo do eixo da fibra em termos de tenacidade, percentual de alongamento e o módulo inicial (ou módulo de Young). Define-se tenacidade como o estresse específico, ou seja, corresponde ao máximo da razão de carga por densidade linear (título) da fibra, em uma curva tenacidade-alongamento, que uma fibra pode suportar antes que quebre. Normalmente, as fibras naturais têm uma tenacidade maior, associada a um menor alongamento, ou vice-versa (REEDY; YANG, 2005).

A resistência à ruptura ou tenacidade é expressa em g/tex ou mN/tex, onde: i) mN é uma medida de força significando “miliNewton”; ii) tex significa o título da fibra ou fio representando gramas por 1000 metros de fibra ou fio; e iii) $(1 \text{ mN/tex}) = (9,81 \times 1 \text{ g/tex})$. A tenacidade trata-se de um valor intrínseco ao material independente de suas dimensões. Fibras com maior resistência permitirão a produção de fios com boa tenacidade a altas velocidades e taxas de estiragem (SAVILLE, 2007; KASWELL, 1963).

O “Módulo de Young” é a razão da variação da tensão na variação do esticamento dentro do limite elástico do material. A razão é calculada pela tensão, expresso em força por unidade de área de seção transversal, e o esticamento, expresso como uma fração do comprimento original. O Módulo de Young é de grande valia para o engenheiro que trabalha com madeira, aço estrutural e concreto, uma vez que esses materiais são usados abaixo dos seus limites elásticos e pequenas deformações baixo carga podem ser calculadas com um grau razoável de precisão. O engenheiro e o tecnólogo têxtil também podem usar essa razão, mas devido ao fato dos diagramas de carga-alongamento de têxteis não serem geralmente lineares em sua inteira faixa de uso, o “módulo tensional” de uma fibra não é constante e deve ser usado somente em condições onde é propriamente definido. O Módulo de Young também pode ser relacionado à resistência e rigidez da fibra têxtil (KASWELL, 1963). Assim, quanto maior o módulo de um material, menos ele se estende em função de aplicação de determinada força. Algodão tem módulo menor que linho e juta e, portanto, é mais flexível e macio (REEDY; YANG, 2005).

2.10.4. *Regain* e Umidade

Todos os materiais têxteis contêm certa quantidade de umidade natural que pode variar conforme o tipo de fibra. Essa característica muda conforme a umidade relativa do ar no ambiente, e a umidade da fibra tende a refletir o respectivo ambiente, como consequência pode haver alterações no peso das fibras (SILVEIRA, 2011). Sendo assim a

determinação do teor de *regain* e umidade mostra-se importante para completa caracterização das fibras e sua potencialidade de utilização.

O Conteúdo Percentual de Umidade (ou “Umidade”) é definido como o peso de água calculado como uma percentagem do peso original da amostra (20°C; 65% de umidade relativa) e a Recuperação Percentual de Umidade (ou “*Regain*”) é definido como o peso de água calculado como uma percentagem do peso seco (FONSECA; SANTANA, 2003).

2.10.5. Microscopia

O microscópio é a principal ferramenta para a análise de fibras (HOUCK, 2009), sobretudo vegetais, as quais necessitam de observação microscópica da secção transversal de um pequeno feixe para sua identificação (a exemplo **Figura 2.15**). No caso das fibras sintéticas, esse ensaio não é tão significativo, pois estas são produzidas da maneira desejada para a aplicação a qual será destinada (SANTOS et al, 2009).

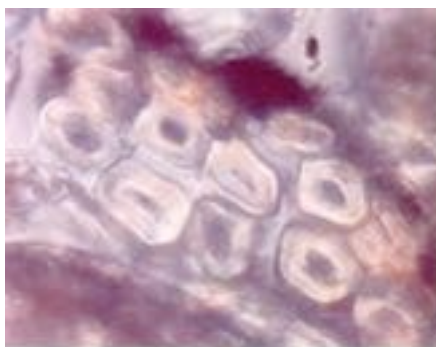


Figura 2.15. Microscopia do Linho (SILVEIRA, 2011).

A microscopia óptica apresenta algumas limitações como mínimo contraste em foco (MARCHI; CASTRO, 2005).

A microscopia de luz polarizada é um método útil para determinar os aspectos qualitativos e quantitativos de eixos cristalográficos presentes em vários materiais. As cores apresentadas surgem como resultado da interferência entre as ondas de luz que passam através da amostra. Um microscópio de luz polarizada é uma ferramenta essencial para a identificação e análise de fibras, apresentando-se como método eficaz para determinar aspectos qualitativos e quantitativos de eixos cristalográficos presentes em diversos materiais (DAVIDSON, 2004). Muitas das características podem ser visualizadas em luz não polarizada. No entanto, este tipo de análise fornece um método rápido, direto e

preciso para a percepção de fibras similares. É possível um examinador identificar uma classe genérica de fibras simplesmente pelas suas características microscópicas e propriedades ópticas (HOUCK, 2009). No caso da microscopia de luz polarizada, as cores apresentadas surgem como resultado da interferência entre as ondas de luz que passam através da amostra (DAVIDSON, 2004).

Devido a maior riqueza de detalhes, para avaliar a superfície dos materiais pode ser realizada microscopia eletrônica, a qual é utilizada para estudar também as superfícies dos materiais poliméricos tais como, plásticos, filmes, membranas, fibras e compósitos. A microscopia eletrônica de varredura é utilizada, normalmente, como análise complementar de outras técnicas de caracterização. Este tipo de ensaio, se realizado com o acessório EDS, permite a determinação da composição mineral em amostras de tamanhos reduzidos ($< 5 \mu\text{m}$), permitindo uma análise detalhada dos materiais. O EDS (*Energy Dispersive X-Ray Detector*, EDX ou EDS) é um acessório essencial no estudo de caracterização microscópica de materiais. Quando o feixe de elétrons incide sobre um mineral, os elétrons mais externos dos átomos e os íons constituintes são excitados, mudando de níveis energéticos. Ao retornarem para sua posição inicial, liberam a energia adquirida a qual é emitida em comprimento de onda no espectro de Raios-X. Um detector instalado na câmara de vácuo do aparelho mede a energia associada a esse elétron. Como os elétrons de um determinado átomo possuem energias distintas, é possível, no ponto de incidência do feixe, determinar quais os elementos químicos estão presentes naquele local e assim identificar em instantes que mineral está sendo observado (DEGEO, 2013).

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) ou *Scanning Electron Microscopy* (SEM) tem comprovado ser um instrumento muito útil para a avaliação da morfologia da fibra. As imagens tridimensionais produzidas demonstram claramente as características superficiais, tais como a presença de modificações superficiais, aplicações de acabamento, natureza do desgaste e causas das falhas. A grande profundidade do raio visual, simples preparação da amostra e alta resolução tem tornado a MEV ou SEM a maior contribuição para o estudo de fibras têxteis (CARDOSO, 2009). Fibras têxteis geralmente tem um acabamento superficial aplicado após a fiação para auxiliar no tratamento das fibras para a produção das fibras e dos tecidos. Também fibras rompidas podem ser examinadas por MEV ou SEM para avaliar a natureza do mecanismo de falha e para identificar a localização da causa da falha (SAWYER; GRUBB, 1996).

2.10.6. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

A espectroscopia de infravermelho é certamente uma das mais importantes técnicas analíticas disponíveis atualmente, podendo ser usada tanto para caracterizar fibras, quanto para investigar a sua condição (HOUCK, 2009). Uma das grandes vantagens da espectroscopia de infravermelho é que se pode estudar praticamente qualquer amostra em variados estados: líquidos, soluções, pastas, pós, filmes, fibras, gases e superfícies podem ser analisados com uma escolha criteriosa da técnica de amostragem. Como uma consequência da instrumentação melhorada, uma variedade de novas técnicas sensíveis foram desenvolvidas, a fim de analisar amostras anteriormente intratáveis (STUART, 2004).

A radiação infravermelha (IR) corresponde aproximadamente à parte do espectro eletromagnético situada entre as regiões do visível e microondas. A porção de maior utilidade na análise e identificação de materiais está situada entre 4000 cm^{-1} e 400 cm^{-1} ($2,5\text{ }\mu\text{m}$ e $25\text{ }\mu\text{m}$), o chamado infravermelho médio (HAACK, 2010).

Materiais bastante diferenciados quimicamente, tais como fibras sintéticas, lã, seda e fibras de plantas, podem ser facilmente distinguidos. As diferenças químicas sutis entre as fibras mais estreitamente relacionadas podem então ser exploradas para diferenciar estes materiais; por exemplo, tem sido demonstrado que é possível identificar as fibras de plantas com base em seu teor de lignina (HOUCK, 2009).

A análise mais usual é realizada através de um gráfico de transmitância por comprimento de onda, como o apresentado na **Figura 2.16**.

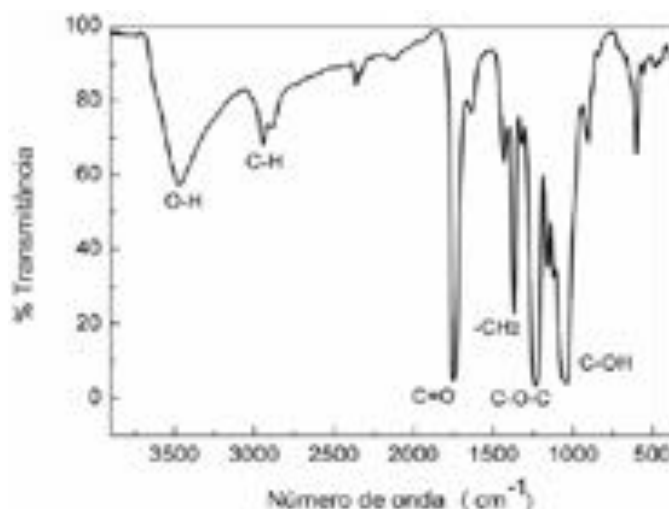


Figura 2.16. Espectro de infravermelho obtido para as membranas de acetato de celulose de transmitância versus comprimento de onda (BAPTISTA; BORGES; FERREIRA, 2010).

Também é frequente em espectroscopia de infravermelho utilizar uma linha de base que una os pontos mais baixos de absorvância em um pico, de preferência em partes planas de forma reprodutível a linha de absorção, para fazer uma análise quantitativa (HAACK, 2010). Um exemplo de gráfico para análise por absorvância é mostrado na **Figura 2.17**.

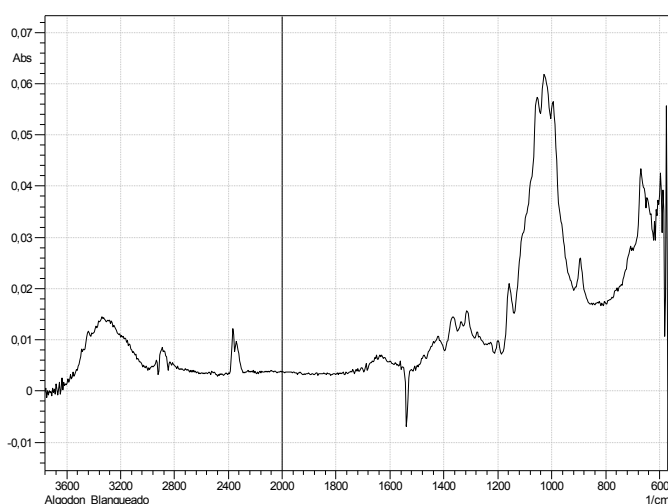


Figura 2.17. Ensaio de IR realizado algodão após branqueamento de absorvância versus comprimento de onda (CAYUELA-MARÍN, 2013).

De acordo Vogel (2002), transmitância é a fração da luz incidente com um comprimento de onda específico, que atravessa uma amostra de matéria (**Equações 2.1 e 2.2**). A transmitância pode ser utilizada para classificar os diferentes tipos atômicos, uma vez que cada um possui uma capacidade distinta de absorver ou transmitir radiação. Por outro lado, absorvância é a capacidade intrínseca dos materiais em absorver radiações em frequência específica (**Equação 2.3**). Desse modo, a radiação incidente I_0 ao atravessar a amostra, terá parte de sua intensidade absorvida, sendo que a radiação que deixa a amostra I , sendo que:

$$\text{Transmitância } T = (I / I_0) \quad \text{(Equação 2.1)}$$

$$\text{Transmitância \%: } \%T = 100.T \quad \text{(Equação 2.2)}$$

$$\text{Absorvância } A = \log_{10}(I_0/I) = \log_{10}(1/T) = \log_{10}(100 / \%T) = 2 - \log_{10}(\%T) \quad \text{(Equação 2.3)}$$

Então, se a luz passa através de uma solução sem absorção nenhuma, a absorvância é zero, e a transmitância percentual é 100%. No caso em que toda a luz é absorvida, a transmitância percentual é zero e a absorvância é infinita.

Ainda conforme Vogel (2002), a Lei de Lambert-Beer dispõe que a absorvância (A) será diretamente proporcional à concentração do elemento que absorve (c). Isso significa dizer que a transmitância percentual (%T) será proporcional ao exponencial do valor negativo dessa concentração. Ou seja, $A = k \cdot c$ ou $\%T = e^{-kc}$, onde k corresponde ao valor de uma constante relativa à absorvividade e comprimento do caminho óptico.

2.10.7. Grau de Polimerização médio viscosimétrico das fibras

O ensaio que avalia o grau de polimerização médio das fibras tem significativa importância para a caracterização desse tipo de material, pois avalia o comportamento de fluxo das cadeias poliméricas como consequência de uma tensão de cisalhamento (MORGADO, 2009). A resistência das fibras celulósicas é influenciada pelo seu arranjo molecular e também pelo seu grau de polimerização (GP). Quanto maior o seu GP, maior em tese é a resistência da fibra. Um GP típico para as fibras celulósicas comumente utilizadas na indústria têxtil varia em torno de 2.000 a 3.000 (KUASNE, 2008).

2.10.8 Digital Scanning Calorimetry (DSC)

O ensaio de *Digital Scanning Calorimetry* (DSC) monitoriza a diferença no fluxo de calor da amostra em comparação com um sistema de vácuo (inerte). As alterações químicas e físicas induzidas em um polímero pela aplicação de calor resultam em mudanças na entalpia e entropia (HOUCK, 2009).

A análise via DSC permite determinar as temperaturas em que ocorrem eventos térmicos, endotérmicos e exotérmicos, em que se avalia o fluxo de calor (perda e ganho de calor) em função da temperatura, esta é diretamente proporcional à mudança na energia interna (entalpia) da amostra. Ou seja, a temperatura da amostra acompanha a temperatura de referência, pela perda ou ganho de calor, o qual é controlado pelo equipamento (LUCAS; SOARES; MONTEIRO, 2001).

O princípio fundamental desta técnica é que, quando a amostra sofre uma transformação física tais como as transições de fase, mais (ou menos) calor terá de fluir para o material. Isto depende se o processo é exotérmico ou endotérmico. Por exemplo, tal como uma amostra sólida derrete até um líquido requer mais calor para aumentar a sua temperatura. Isto é devido à absorção de calor que a amostra sofre na transição de fase

endotérmica de sólido para líquido. Do mesmo modo, medida que a amostra passa por processos exotérmicos (tais como a cristalização) menos calor é necessário para aumentar a temperatura da amostra. Ao observar a diferença de fluxo de calor entre a amostra e a amostra de referência, este ensaio é capaz de medir a quantidade de calor absorvida ou libertada durante tais transições. O DSC também pode ser usado para observar as mudanças de fase mais sutis, como as transições vítreas. Este ensaio é amplamente utilizado em ambientes industriais como um instrumento de controle de qualidade, devido à sua aplicabilidade para avaliar a pureza da amostra e para o estudo de cura do polímero. O resultado de um ensaio de DSC é um gráfico, o qual apresenta uma curva (FLEMING, 2013).

A **Figura 2.18** mostra uma curva de DSC idealizada, mostrando as formas associadas a determinadas transições de fase.

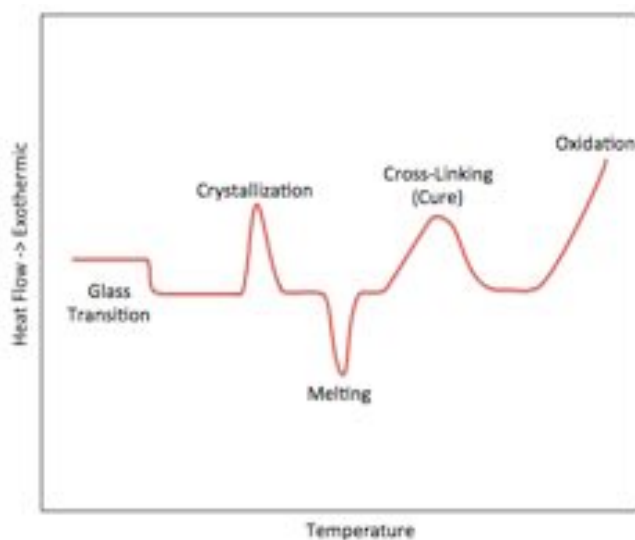


Figura 2.18. Curva de DSC esquemática mostrando o aparecimento de várias características de transições de fase (BARRON, 2014).

Esta curva pode ser usada para calcular as entalpias de transição. Isso é feito por meio da integração do pico correspondente a uma dada transição. A entalpia de transição pode ser expressa através da **Equação 2.4**.

$$\Delta H = KA \quad (\text{Equação 2.4})$$

Onde: ΔH : Entalpia de transição; K: Constante de calorimetria; A: Área sob a curva.

A constante de calorimetria irá variar de instrumento para instrumento, e pode ser determinada por análise de uma amostra bem caracterizada com entalpia de transição conhecidos (FLEMING, 2013).

2.10.9. Thermogravimetric analysis (TGA)

A análise via TGA pode ser entendida como um ensaio no qual é possível avaliar a variação de massa de determinada amostra em função de sua temperatura. A análise pode ser realizada por aquecimento, resfriamento ou até mesmo a temperatura constante. Os resultados são obtidos através de um gráfico que mostra tempo ou temperatura e o percentual de massa ganho ou perdido (LUCAS; SOARES; MONTEIRO, 2001).

Este teste é realizado com a amostra colocada em uma microbalança, que por sua vez, é inserida dentro de um forno. Estabelece-se então um programa de aquecimento, a uma taxa predeterminada, e a variação de peso da amostra é detectada (SILVA; SILVA, 2003).

Normalmente os gráficos de DSC e TGA são analisados em conjunto, sendo que podem ser realizados em um mesmo equipamento ou em dois equipamentos distintos. No primeiro caso, a interpretação dos resultados é facilitada, a exemplo a **Figura 2.19**.

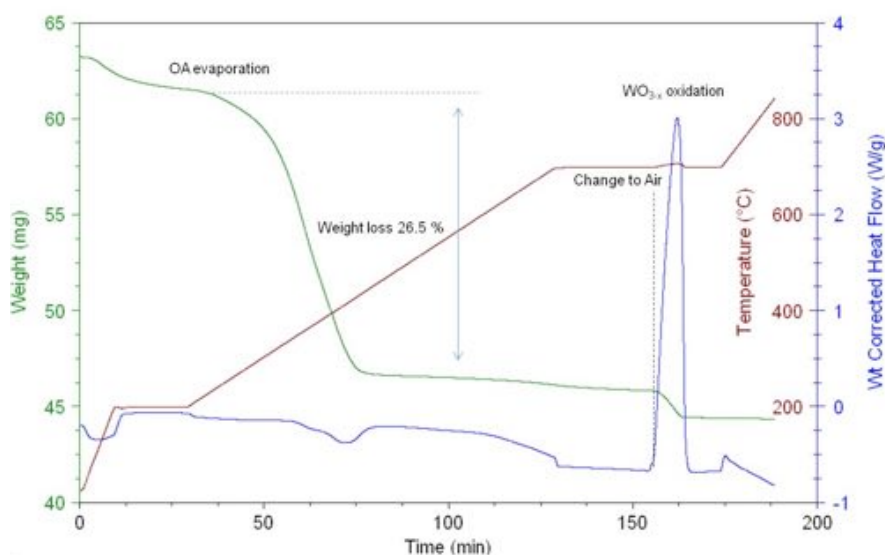


Figura 2.19. Ensaio TGA / DSC para nanobastões de trióxido de tungstênio (SOULTANIDIS; BARRON, 2009).

As análises são realizadas avaliando o teor de umidade, a perda de peso, tempo, temperatura nos gráficos de TGA, bem como na sua derivada (*Derivative Thermogravimetry* - DTG). Nos gráficos de DSC são analisadas as temperaturas inicial e final dos picos e se são endotérmicos ou exotérmicos (SOULTANIDIS; BARRON, 2009).

3. Objetivo

Este estudo teve como objetivo determinar características físicas e químicas de seis espécies vegetais de espécies de Malvaceae:

- *Sida rhombifolia* L.
- *Sida carpinifolia* L. f.
- *Sida cordifolia* L.
- *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell
- *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck
- *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries

4. Justificativa

Os estudos nas áreas de fibras vegetais, racionalização e desenvolvimento de materiais biodegradáveis e recicláveis são de grande importância. Por esta razão, a pesquisa desenvolvida no meio acadêmico científico pode desencadear inúmeros avanços na ciência, pesquisa pura e aplicada e inovações.

Fibras vegetais, tais como juta, sisal, fibra de bananeira, coco e outras, constituem materiais sustentáveis, já possuindo aplicações correntes (produção de fios, tecidos, não tecidos, compósitos, etc) e outras aplicações ainda sendo pesquisadas. Por outro lado, de muitas outras espécies vegetais brasileiras e suas respectivas fibras pouco ou nada é conhecido sobre suas características e possíveis aplicações.

Com relação às fibras da espécie da família Malvaceae aqui estudadas, não foram encontradas referências bibliográficas recentes (com menos de cinco ou dez anos) onde sejam apresentadas suas características físicas e químicas. Essa ausência na literatura científica torna-se praticamente total quando se procuram referências dessas características determinadas por tecnologias mais modernas, tais como DSC, TGA, FTIR, etc. Assim a justificativa mais relevante para a realização do presente estudo é a ausência de conhecimento referente ao tema proposto.

Deste modo, o presente estudo tem como objetivo determinar as características físicas e químicas de fibras de seis espécies da família Malvaceae, formando assim uma base na literatura científica para pesquisas futuras, as quais podem ser no sentido de aplicação das fibras, bem como incentivo ao estudo e caracterização de outras espécies vegetais brasileiras.

5. Materiais e Métodos

5.1. Origem das espécies

As espécies de *Sida rhombifolia* L. e a *Sida carpinifolia* L. f. foram coletadas na região do Parque Ecológico do Tietê (raio de 500 m a partir de S 23° 28' 59,5" W 46° 30' 11,7"), já *Sida cordifolia* L., *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell, *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck e *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries foram coletadas na região da Cachoeira das Emas, em Pirassununga – São Paulo (raio de 1000 m a partir de S 21° 56' 38,6" W 47° 22' 33,0").

Todas as espécies foram obtidas com autorização do IBAMA (Autorização SISBIO/IBAMA n° 3008716/ n° 16992-1) e do Instituto Florestal de São Paulo (COTEC-IF, processo SMA n° 260108 - 000.000.002.533/0), e já se encontravam na EACH/USP no início das atividades deste Mestrado.

5.2. Maceração em Água

O material coletado, já seco, foi submetido à maceração em água a 37°C em banho-maria (Fisatom, modelo 588, Brasil). As hastes foram então cortadas em pedaços de ±70 mm e colocadas em recipientes de vidro com 200 ml de água destilada, configurando uma relação 1:2 (w/v). Foram utilizados mais ou menos 7 pedaços para cada experimento (aproximadamente 100 g de material). A evaporação foi diariamente acompanhada com reposição de água para manter o volume constante.

Após a maceração, as fibras foram secas em estufa com recirculação forçada de ar (Binder, modelo FD 115, Alemanha) a 60°C por 48 horas. Em seguida, fotografadas em fundo branco e fundo preto (Câmera Digital Sony, 8,1 megapixels, modelo H10, Japão).

5.3. Testes Físicos

5.3.1. Climatização das Amostras

Conforme a norma ABNT NBR ISO 139:2008 (antiga ABNT NBR 8428 de 1984), todos os testes foram realizados com amostras previamente climatizadas, por um período mínimo de 48 horas, a 20°C e umidade relativa de 65%. As amostras foram condicionadas em instrumento de condicionamento para materiais têxteis ou climatizadora marca Mesdan (modelo Climatest M250-RH, Itália).

5.3.2. Comprimento

É a dimensão longitudinal da fibra em seu estado natural. A determinação do comprimento comercial foi feita por meio manual com uso de régua de aço inox (REF. 534.030, Famastil Taurus Ferramentas, China) (BAYER-FIBRAS 100%, 2005; CONTROLE QUALIDADE – Protocolos de Testes Físicos, 2001; RIBEIRO; ANDRADE FILHO, 1987; ARAÚJO e CASTRO, 1984).

5.3.3 Determinação do Título Médio das Fibras

O procedimento sugere a utilização da norma ISO 1973-1995 (método gravimétrico). Entretanto, tal método foi adaptado, uma vez que, para o cálculo do título das fibras, faz-se necessária a determinação do comprimento (vide item anterior) e a pesagem da fibra ou dos feixes de fibras em balança analítica (Sartorius, modelo ED124S, Alemanha). Foi realizada a pesagem da fibra ou do feixe de fibras e determinada a massa média de cada um deles. São realizadas 20 determinações para cada espécie, cada uma correspondente a uma amostra a ser utilizada no ensaio de tração das fibras (conforme item seguinte). Calcula-se cada determinação de título ou densidade linear pela **Equação 5.1**:

$$T_m = \frac{M_m \cdot 1000}{L} \quad \text{(Equação 5.1)}$$

Onde:

T_m = Título Médio (tex ou gramas por 1.000 m);

M_m = Massa da fibra ou massa média do feixe (g);

L = Comprimento da fibra ou do feixe de fibras (m).

5.3.4. Ensaio de Tração das Fibras

A partir das amostras obtidas do processo de maceração em água, foram realizados, segundo a norma ASTM D 3 822-2001 (e subsidiariamente com a norma ASTM D 1445-05) os ensaios para determinação das propriedades de tração e alongamento de fibras têxteis utilizando dinamômetro (“tester machine”) marca Instron (modelo 5569, Norwood, Estados Unidos). A célula de carga empregada para os testes correspondeu a de no máximo 10 N.

Em todos os casos, foram empregados mordentes de garras emborrachados com dimensões de 2,5 x 2,5 cm. A distância entre as garras foi de 25 mm e a velocidade de deslocamento durante os testes de 20 mm/min.

Para cada fibra vegetal foram empregadas 20 ou mais amostras de modo a serem realizados 20 testes válidos. Os valores de densidade linear (tex), calculados para cada amostra, conforme itens 5.3.2. e 5.3.3, foram fornecidos ao dinamômetro previamente antes de cada teste. Foram determinadas as médias, desvios-padrão e coeficientes de variação (vide item 5.8) dos valores de carga máxima (N), carga de ruptura (N), tenacidade na ruptura (cN/tex), extensão na carga máxima (mm), extensão na carga de ruptura (mm), porcentagem de alongamento na ruptura (%) e módulo de Young (N/tex). Também foram geradas as curvas de tenacidade versus porcentagem de alongamento na ruptura para todos os testes realizados com as amostras de cada fibra vegetal.

O valor de tenacidade é determinado a partir da **Equação 5.2**, apresentada a seguir:

$$\gamma = \frac{F}{T_m} \quad \text{(Equação 5.2)}$$

Onde:

γ = Tenacidade (cN/tex);

F = Carga de Ruptura (cN);

T_m = Título médio (tex).

O módulo de Young (ou módulo inicial ou módulo têxtil) de uma fibra é determinado pela inclinação da curva de tenacidade-alongamento em sua parte inicial linear conforme **Equação 5.3** (KASWELL, 1963):

$$\text{Módulo de Young} = \frac{\gamma_1}{\varepsilon_1} \quad \text{(Equação 5.3)}$$

Onde:

γ_1 = Tenacidade na parte inicial da curva tenacidade-alongamento (cN/tex);

ε_1 = Alongamento na parte inicial da curva tenacidade-alongamento (%).

5.4. Determinação do Teor de *Regain* e Umidade

O método foi adaptado da norma ISO/TR 6741-4:1987. A quantidade de umidade foi determinada pela pesagem de uma amostra condicionada (20°C e 65% de umidade relativa) em balança analítica (Sartorius, modelo ED124S, Alemanha). Em seguida foi

realizada secagem em estufa com recirculação forçada de ar (Binder, modelo FD 115, Alemanha) a 70°C até atingir peso constante (“overnight”) e em seguida a amostra foi tarada novamente.

O Conteúdo Percentual de Umidade (ou “Umidade”) é definido como o peso de água calculado como uma percentagem do peso original da amostra (**Equação 5.4**):

$$\text{Conteúdo Percentual de Umidade} = \frac{\text{peso original} - \text{peso seco}}{\text{peso original}} \cdot 100 \quad (\text{Equação 5.4})$$

A Recuperação Porcentual de Umidade (ou “*Regain*”) é definida como o peso de água calculado como uma percentagem do peso seco (**Equação 5.5**):

$$\text{Recuperação Percentual de Umidade} = \frac{\text{peso original} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \cdot 100 \quad (\text{Equação 5.5})$$

Os resultados obtidos foram comparados com os de fibras comerciais demonstrados na norma ABNT NBR 12331/91: Fibras têxteis – Taxa convencional de condicionamento.

5.5. Microscopia das fibras

Utilizando as amostras de fibras preparadas foi realizado, de acordo com a norma ABNT NBR 13 538-1995, o ensaio de identificação de fibras têxteis, por microscopia dos cortes longitudinal e transversal.

5.5.1. Corte Transversal

Para o corte transversal, foi necessário preparar um suporte de cartolina e utilizar resina para encapsular a fibra singela (junto ao suporte), de modo a deixá-la bem esticada e centralizada para realização do corte transversal propriamente dito, conforme demonstrado na **Figura 5.1**.

As capsulas foram cortadas em espessuras de 70 µm, para eliminar o topo, onde não há fibra e, a partir daí, com 35 µm de espessura, através de micrótomo semi-automatizado rotacional (Leica, modelo RM 2245, Alemanha). Feitos os cortes, duas secções transversais de um mesmo corpo-de-prova foram depositadas sobre lâminas de microscopia espalmada com uma gota de óleo mineral petrolato líquido (Nujol, Mantecorp, Brasil), cobertas com lamínulas e identificadas com o número da amostra. Os materiais foram analisados em microscópio biológico (Leica, modelo BME, Alemanha) acoplado a vídeo-câmara de captação digital de imagens (Sony, Color Video Camera ESWAVEHAD,

modelo 55C-DC93-P, China). As ampliações corresponderam a 128, 320, 640, 1280 e 2016 vezes. As imagens foram captadas e processadas pelo sistema Video Analyser 2000 code 250 (Mesdan, Itália).

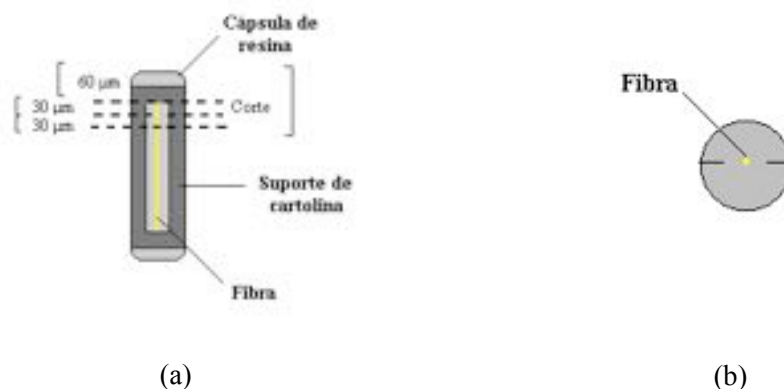


Figura 5.1. (a): Esquema da fibra em cápsula de resina; (b): Esquema do corte transversal (QUEIROZ, 2007).

5.5.2. Encapsulamento da fibra

A metodologia descrita abaixo para encapsulamento das fibras é usada rotineiramente no laboratório do Centro Tecnológico de Têxtil e Moda do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (CETIM – IPT), do qual se apresenta o protocolo abaixo.

O seguinte processo foi realizado para preparação da secção transversal das fibras para quatro corpos-de-prova por fibra:

- Foi marcada numa cartolina recortada nas dimensões de (56 x 18) mm, uma sequência de oito pequenos retângulos de (7 x 18) mm, tendo centralizado em seu interior, retângulos de (3 x 12) mm, para posterior recorte (**Figura 5.2**). Essas dimensões do retângulo podem variar conforme o tamanho da cápsula. O retângulo deve ter dimensões tais que seja possível sua inserção na cápsula de gelatina;

- O retângulo A, B, C, D foi recoberto em toda sua extensão, no seu dorso, com fita gomada dupla-face, com 20 mm de largura. Vazaram-se os retângulos maiores, recortando os retângulos menores com o auxílio de um estilete, conforme **Figura 5.2**.

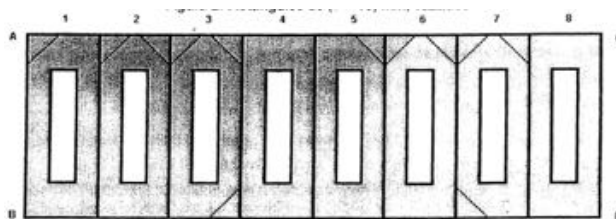


Figura 5.2. Retângulos de cartolina branca de (7 x 18) mm, vazados.

- Foram separados, por corte, os oito retângulos de (7 x 18) mm;
- Nos retângulos de número 1 a 4, retiraram-se, sucessivamente, o papel siliconado da fita gomada, e foi montado, sobre a fita gomada, um pequeno feixe de fibras ou fios de filamentos paralelos, mantidos sob pequena tensão, no centro da parte vazada, paralelamente ao eixo maior do retângulo;
- Aos retângulos preparados conforme acima, aderiram-se os retângulos 5 a 8, após retirada do papel siliconado, unindo-os pela fita, formando o suporte;
- Se os suportes para os corpos-de-prova necessitavam de identificação, foram recortadas uma das quatro pontas do suporte para o corpo-de-prova 1, duas pontas para o corpo-de-prova 2, três pontas para o corpo-de-prova 3 e nenhuma para o corpo-de-prova 4, nas linhas indicadas, conforme **Figura 5.2**;
- Foi preparada sobre um vidro de relógio, uma pequena quantidade de solução constituída de 0,5 ml de base resina Technovit 7100 (Heraeus, Alemanha) e 0,5 ml de álcool etílico P.A. a 96%. Os corpos-de-prova foram imersos nesta solução, onde ficaram por 1,5 h, para intumescer completamente;
- Nos últimos minutos do período de intumescimento, foi preparada em um béquer de 10 ml, uma segunda solução constituída de 0,0375 g do endurecedor I (pó) (reagente que acompanha a resina) e 3,75 ml de base Technovit 7100, misturada até dissolução completa do pó;
- Imediatamente após terminada a preparação da solução acima, retiraram-se os suportes da primeira solução e foram imergidos nesta segunda solução, na qual deviam permanecer imersos por mais 1,5 h, em temperatura ambiente;
- Retiraram-se os suportes da segunda solução, foi adicionado 0,25 ml do endurecedor II (líquido) (reagente que acompanha a resina) e se misturou até completa homogeneização. Esta nova solução foi vertida para dentro de uma cápsula de gelatina (Capsugel - Pfizer, Cápsula Gel no 00 incolor, Brasil) e, em seguida, foi introduzido o suporte dentro da cápsula. Foi centralizado com cuidado o suporte para que as fibras ou os

fios fiquem perfeitamente perpendiculares à abertura da cápsula. O material foi deixado em repouso por no mínimo duas horas, à temperatura ambiente;

- Após o endurecimento da resina, a cápsula de gelatina foi dissolvida com água morna.

5.5.3. Dimensão das células constituintes das fibras

As microscopias das secções transversais, com ampliação de até 1.280 vezes foram captadas e processadas pelo sistema Vídeo Analyser 2000 code 250 (Mesdan, Itália). As ampliações correspondem a 128, 320, 640 e 1280 vezes. Através desse sistema foram determinadas as dimensões das células constituintes de suas respectivas fibras. Para cada espécie, o diâmetro foi estimado pela média e desvio-padrão de 5 medidas em unidades de micrometros.

5.5.4. Corte Longitudinal

As vistas longitudinais foram realizadas com as fibras secas, presas por uma cartolina devidamente recortada, colada e identificada, com aproximadamente 4 x 2,5cm (medidas externas) e 3 x 1,5cm (medidas internas). A análise foi realizada em estereomicroscópio (Leica, modelo MS5, Alemanha) acoplado a videocâmara de captação digital de imagens (Vista, Protos IV, modelo VPC 122/CH, 1/2" CCD, Grã-Bretanha). As ampliações correspondem a 20, 32, 51, 80 e 128 vezes. As imagens foram captadas e processadas pelo sistema Vídeo Analyser 2000 code 250 (Mesdan, Itália).

5.6 Testes Químicos

Os seguintes testes químicos foram aplicados às fibras:

5.6.1. Combustão

Neste teste foi analisado o tipo de chama que a fibra produziu, cinza e odor, através da queima de amostras das fibras climatizadas a 20°C e a 65% de umidade relativa, com peso aproximado de 0,1 g.

Trata-se de uma análise qualitativa, na qual foram avaliadas as impressões estéticas das fibras, são elas:

- combustão (queima, fusão ou retraimento da fibra);
- tipo da chama (cor e intensidade);
- cinza (cor);
- odor (papel ou madeira queimada, vinagre, salsa verde, etc.).

5.6.2. Efeito dos Ácidos

Amostras com peso aproximado de 0,1 g foram submetidas a tratamento por 60 minutos a temperatura ambiente em concentrações de ácido sulfúrico de 0,01 N e 0,1 N. A seguir as amostras serão neutralizadas, através da imersão em solução de carbonato de sódio 10% (w/v), seguida de lavagem em água destilada e secas em estufa a 60°C em estufa com recirculação forçada de ar (Binder, modelo FD 115, Alemanha). Acompanhou-se a alteração das fibras por análise microscópica longitudinal antes e depois do tratamento e também a perda de peso das mesmas, ou seja, determinada por pesagem, antes e depois do tratamento das amostras climatizadas a 20°C e a 65% de umidade relativa empregando climatizadora (Mesdan, modelo Climatest M250-RH, Itália), em balança analítica (Sartorius, modelo ED124S, Alemanha) (CONTROLE QUALIDADE - TESTES QUÍMICOS, 2001; CAVACO-PAULO, 1995; RIBEIRO; ANDRADE FILHO, 1987; ARAÚJO; CASTRO, 1984).

5.6.3. Efeito dos Álcalis

Amostras, com aproximadamente 0,1 g foram submetidas a tratamento em temperatura ambiente, em concentrações de soda caustica de 1 N e 7,5 N, respectivamente por 60 e 20 minutos. Esta última concentração (7,5 N) corresponde aproximadamente à média das concentrações de hidróxido de sódio empregadas no processo de mercerização, ou seja, de 28 °Bé (267,4 g/L) a 32 °Bé (327,7 g/L) (RODRIGUES, 1997). A seguir as amostras foram neutralizadas, através de lavagem com água destilada e da imersão em solução de ácido sulfúrico a 0,01 N, seguida de nova lavagem em água destilada e secas a 60°C em estufa com recirculação forçada de ar (Binder, modelo FD 115, Alemanha). A alteração das fibras foi acompanhada por análise microscópica longitudinal e pela perda de peso, ou seja, determinada por pesagem, antes e depois do tratamento das amostras climatizadas a 20°C e a 65% de umidade relativa empregando climatizadora (Mesdan, modelo Climatest M250-RH, Itália), em balança analítica (Sartorius, modelo ED124S, Alemanha) (CONTROLE QUALIDADE - TESTES QUÍMICOS, 2001; CAVACO-PAULO, 1995; RIBEIRO; ANDRADE FILHO, 1987; ARAÚJO; CASTRO, 1984).

5.6.4. Efeito dos Solventes Orgânicos

Para realizar estes testes, foi utilizado produto comercial conhecido como “Varsol” (Procedência: Esso Standard do Brasil. Composição aproximada: 18% hidrocarbonetos aromáticos, 40% hidrocarbonetos naftênicos e 42% em parifínicos) sem diluição, no qual as amostras (com peso aproximado de 0,1g) foram submetidas a tratamento por 24 horas a temperatura ambiente. Após o tratamento as amostras foram secas a 60°C em estufa com recirculação forçada de ar (Binder, modelo FD 115, Alemanha). Foram determinadas as alterações das fibras através de análise microscópica longitudinal e perda de peso. A alteração nas fibras foi acompanhada por análise microscópica longitudinal e pela perda de peso, ou seja, determinada por pesagem em balança analítica (Sartorius, modelo ED124S, Alemanha), antes e depois do tratamento, das amostras climatizadas a 20°C e a 65% de umidade relativa empregando climatizadora (Mesdan, modelo Climatest M250-RH, Itália) (CONTROLE QUALIDADE - TESTES QUÍMICOS, 2001; CAVACO-PAULO, 1995; RIBEIRO; ANDRADE FILHO, 1987; ARAÚJO; CASTRO, 1984).

5.6.5. Determinação do pH do extrato aquoso

O procedimento foi adaptado das normas AATCC 81-2001 e ASTM D 2165-90. Uma solução de cloreto de sódio 0,1 N foi preparada com água destilada com pH entre 6,2 e 7,0. As amostras (com peso de aproximadamente 0,1 g) foram fervidas na solução na relação aproximada de 1:50 (m/v) por 60 minutos. Após o resfriamento à temperatura ambiente, o pH aquoso foi determinado através de leitura em pHmetro de bancada (modelo IRDA, Metrohm, Suíça) equipado com eletrodo para meio aquoso (modelo Primatrode, Methohm, Suíça). Uma amostra controle foi preparada, contendo somente NaCl 0,1 N para controle da variação de pH antes e depois do processo de fervura (CONTROLE QUALIDADE - TESTES QUÍMICOS, 2001).

5.7. Ensaio realizados na Universidade Politécnica da Catalunya (UPC-Espanha) e Universidade do Minho (UMINHO-Portugal)

Os ensaios descritos neste tópico foram realizados sob a orientação direta da Profa. Dra. Diana Cayuela Marin, no laboratório de polímeros da UPC. Ensaio confirmatórios (DSC e TGA) foram realizados sob a supervisão do Prof. Dr. Raul Manuel Esteves Figueiro (UMINHO). Em ambos os casos, os resultados e análises também foram acompanhados nesse período pela presente orientadora Profa. Dra. Júlia Baruque Ramos.

5.7.1. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Para a realização deste ensaio foi utilizado microscópio eletrônico Phenom Pro SEM (PhenomWorld), o qual captura as imagens sem a necessidade de receber revestimento metálico antes das observações (**Figura 5.3**).



Figura 5.3. Microscópio Eletrônico Phenom Pro SEM (PHENOMWORLD, 2013).

Este ensaio foi realizado somente para a visão longitudinal das fibras, as quais foram cortadas em diâmetro adequado ao tamanho do suporte, coladas com adesivo próprio sobre esse suporte e encaixadas à peça do aparelho (**Figura 5.4**) para então ser colocada no microscópio.



Figura 5.4. Peça para encaixe das amostras no microscópio Phenom Pro SEM (PHENOMWORLD, 2013).

Os aumentos foram de 485x até 1.860x, dependendo da dimensão transversal da fibra analisada.

5.7.2. Microscopia óptica transversal com solução de iodo

Este ensaio foi realizado para a visão transversal das fibras. As amostras foram obtidas através de corte em micrótomo de acordo com o mesmo método e das mesmas capsulas utilizadas para microscopia óptica realizada na EACH-USP anteriormente ao período do estágio na UPC (vide item 5.5). Uma gota de solução de iodo (I_2 , 10% em solução alcólica) foi colocada sobre as amostras nas lâminas (conforme **Figura 5.5**). Esperou-se 30 minutos para que as fibras pudessem absorver bem a solução e, posteriormente o excesso foi retirado com papel de filtro.

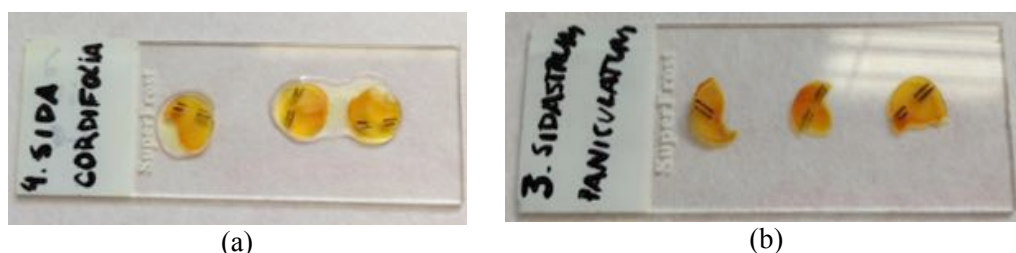


Figura 5.5. Preparação das lâminas com solução de iodo. (a) Antes do período de 30 minutos de espera, observando-se já uma rápida absorção da coloração; (b) Depois do período de 30 minutos de espera para absorção da solução pelas amostras.

Foi utilizado microscópio modelo Olympus CH2 (Olympus Optical Co., Ltd., Tokyo, Japão), com câmera digital Polaroid DMC2 (Polaroid, Minnesota, Estados Unidos).

5.7.3. Microscopia de luz polarizada

Este ensaio é realizado observando a mudança de aspecto do material analisado à medida que este é movido em 45° da direção de vibração da luz polarizada. Observam-se assim as cores de interferência sobre o fundo escuro (CENTRO NACIONAL DE VERIFICACIÓN DE MAQUINARIA, 2009).

As fibras foram analisadas através de microscopia de luz polarizada, com câmera Polaroid DMC2, girando 45° do eixo de visualização inicial.

Foi utilizado microscópio modelo Olympus CH2 (Olympus Optical Co., Ltd., Tokyo, Japão), com câmera digital Polaroid DMC2 (Polaroid, Minnesota, Estados Unidos).

5.7.4. Digital Scanning Calorimetry (DSC)

As amostras foram cortadas de forma a caberem no suporte de amostras próprio para o DSC (**Figura 5.6**).



Figura 5.6. (a) Suporte metálico para preparação das amostras para ensaio de DSC. (b) amostra pronta para ensaio em comparação às dimensões de um tubo tipo Eppendorf.

Primeiramente foi realizado ensaio em equipamento Diferencial Scanning calorimeter DSC 7 - Perkin Elmer (EUA), com faixa de temperatura de 40 a 300°C , com

velocidade de aquecimento de 20°C/min. Este ensaio foi realizado com as amostras em condição ambiente e amostras retiradas de estufa a vácuo.

Posteriormente, novos ensaios confirmatórios de DSC foram realizados na UMINHO, em equipamento Mettler Toledo (Mettler Star SW 8.10, EUA), com faixa de temperatura de ensaio de 0 a 450°C, com velocidade de aquecimento de 10°C/min.

5.7.5. Thermogravimetric Analysis (TGA)

O ensaio de TGA foi realizado em equipamento TGA Q500 (TA Instruments, EUA) (**Figura 5.7**), com nitrogênio, com faixa de temperatura de ensaio de 30 a 800°C e com 30°C/min de velocidade de aquecimento.



Figura 5.7. Equipamento TGA Q500 com *software* QSeries (TA Instruments, EUA).

Para realizar o ensaio, se coloca a amostra em um cadinho, que é levado ao forno para então iniciar as medições.



Figura 5.8. Cadinho onde são colocadas as amostras no equipamento TGA Q500.

Deve-se esperar até que a amostra queime por completo e, à medida que o ensaio é realizado, o *software* do aparelho vai gerando um gráfico com as características que a amostra está apresentando, conforme **Figura 5.9**.

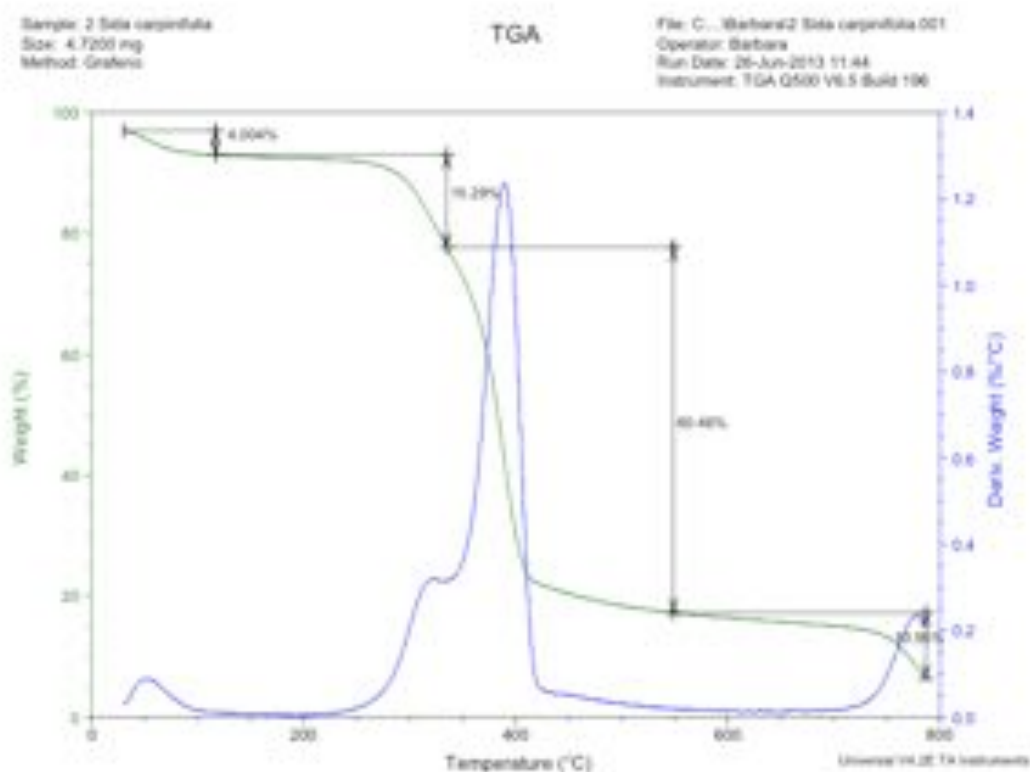


Figura 5.9. Gráfico gerado para *Sida carpinifolia* L.f. pelo equipamento TGA Q500 com *software* QSeries apresentando a curva de perda de massa versus temperatura (em verde) e sua derivada correspondente a *Derivative Thermogravimetry* (DTG) (em azul).

5.7.6. *Fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR)

A preparação das amostras é realizada através da formação de pastilhas, as quais são feitas com a amostra a ser analisada juntamente com brometo de potássio (KBr).

Primeiramente foram pesados em tubos aproximadamente 200 mg de brometo de potássio e colocados em estufa a 105°C por 24 h; este processo é feito para eliminar totalmente a umidade do brometo de potássio. Após as 24 h em estufa, os tubos foram colocados em dessecador com gel de sílica por cerca de 2 h. Para cada amostra foi utilizado um tubo de brometo de potássio.

As amostras foram reduzidas a pó, aproximadamente 1 mg cada, colocadas em estufa a 35°C por 24 h. Após esse período em estufa, as amostras foram colocadas em dessecador com gel de sílice por cerca de 2h. Misturou-se então a amostra intimamente com o brometo potássico utilizando gral e pistilo, conforme **Figura 5.10**.



Figura 5.10. Gral e pistilo utilizados na preparação da amostra para o teste FTIR.

Após obter uma mistura homogênea entre o brometo potássico e a amostra, esta foi introduzida no suporte da prensa, para então formar a pastilha, conforme **Figura 5.11**.

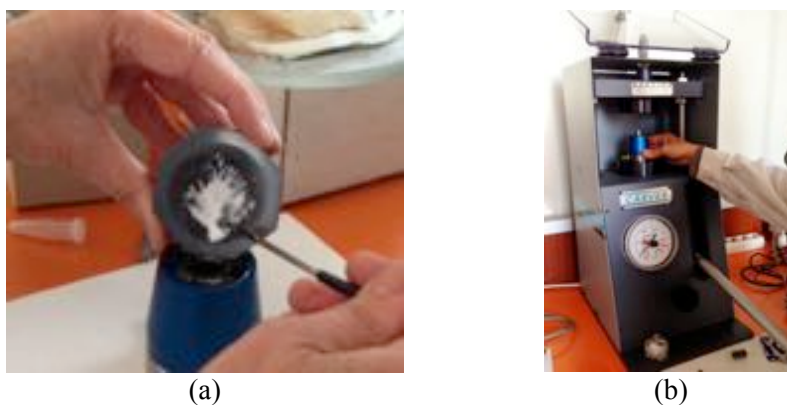


Figura 5.11. (a) Suporte, (b) Prensa utilizada para fazer a pastilha.

O suporte foi colocado na prensa e a pastilha foi feita com pressão de 10 toneladas (**Figura 5.12**). Após 5 minutos sendo prensada, a amostra foi retirada já em formato de pastilha. Realizado este processo, as medições FTIR, para obtenção dos respectivos espectros, foram iniciadas imediatamente, pois se a amostra ficar muito tempo em contato com o ambiente pode adquirir umidade e com isso prejudicar a análise.

O aparelho utilizado foi o FTIR-8400S (Shimadzu, Japão) com número de onda variando de 4000 a 500 cm^{-1} .

Antes da obtenção de cada espectro foi realizado ensaio de branco (com o suporte da pastilha sem a amostra), visando a diminuição da interferência da atmosfera sobre o espectro das amostras.

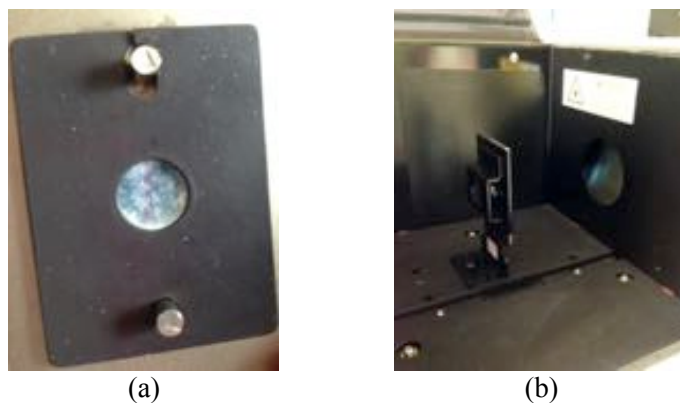


Figura 5.12. (a) Pastilha pronta no suporte do equipamento (b) Parte interna do equipamento onde foi colocado o suporte com a pastilha.

Para cada amostra é gerado como resultado um gráfico de transmitância por número de onda, sobre o qual são realizadas as respectivas análises.

5.7.7. Densidade

Este ensaio foi realizado de acordo com a norma UNE-EN ISO 1183-1 - Método de determinação de densidade através de picnômetro líquido.

Para este ensaio primeiramente foram pesados os picnômetros vazios e secos. Posteriormente as amostras foram colocadas dentro do picnômetro e pesadas, conforme **Figura 5.13**.



Figura 5.13. Picnômetros com as amostras após pesagem.

Depois a amostra foi coberta com o chamado líquido de imersão, o qual para este ensaio foi água destilada, colocando-se então o picnômetro com a amostra em um dessecador para se extrair todo o ar. A extração de ar da amostra em picnômetro levou cerca de 12 h.

Efetuada a extração de ar, o picnômetro com a amostra e o líquido de imersão foram levados para banho em temperatura constante de 27°C, completando o picnômetro até o seu limite de capacidade com o líquido de imersão. Após 20 minutos em banho, o picnômetro é retirado e pesado.

Efetuada este processo com a amostra, o picnômetro foi limpo e seco para novamente ser preenchido com o líquido de imersão e levado ao banho, dessa vez sem a amostra. Passados os 20 minutos novamente no banho, o picnômetro foi novamente pesado.

Todos os valores de peso foram marcados para posteriormente poder ser efetuado o cálculo da densidade. A densidade (ρ_s) foi calculada em gramas por centímetro cúbico, utilizando a **Equação 5.6**:

$$\rho_s = \frac{m_s \cdot P_{il}}{m_1 - m_2} \quad \text{(Equação 5.6)}$$

Onde:

m_s = Massa aparente, em gramas, da amostra;

m_1 = Massa aparente, em gramas, do líquido necessário para encher o picnômetro vazio.

m_2 = Massa aparente, em gramas, do líquido necessário para encher o picnômetro que contém a amostra;

P_{il} = Densidade do líquido de imersão a 27°C, em gramas por centímetro cúbico.

5.7.8. Grau de polimerização médio viscosimétrico da celulose nas fibras

Este ensaio foi realizado de acordo com as normas internas laboratoriais do Instituto de Pesquisa Têxtil e Cooperação Industrial de Terrassa - INTEXTER. O embasamento teórico para este ensaio é reportado por Canevarolo Jr. (2002). Este ensaio teve por objetivo a determinação da viscosidade intrínseca da celulose.

Foram preparadas soluções de 0,5 M de cuprietenodiamina (Merck, número de catálogo 109288, Alemanha) e de 1 g/L de tensoativo não iônico de sandozina (Sandozina NIA, Clariant, Espanha).

Foram pesadas 0,19 g de amostra em um erlenmeyer de 50 ml e colocadas três gotas da solução de sandozina juntamente com 4 pequenas bolas de vidro, juntamente com 35 ml da dissolução de reativo de cobre. Para completar o volume útil do erlenmeyer, foram colocadas mais bolas de vidro. O erlenmeyer foi então tapado com tampa própria com canudo por onde passa a amostra e agitado por 3h a 480 rpm. Transcorrido esse

tempo, foram pipetados 20 mL da solução de celulose-cuprietilenodiamina no balão do viscosímetro. Em seguida, foi efetuada a montagem do tubo viscosimétrico (Ubbelohde, Schott, Alemanha) conforme **Figura 5.14a** e este foi colocado em banho termostático regulado a 28°C, conforme **Figura 5.14b**.

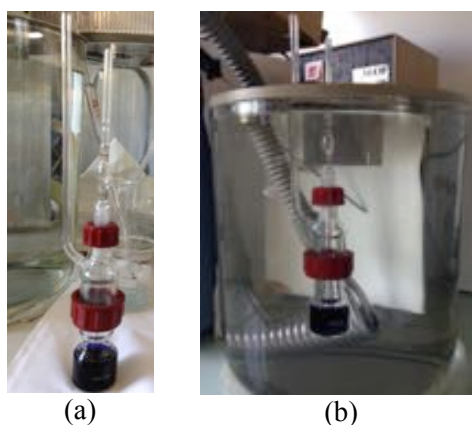


Figura 5.14. (a) Tubo viscosimétrico capilar montado e (b) tubo no banho termostático.

O ensaio se realiza calculando o tempo de queda entre as duas marcas do tubo viscosimétrico capilar, conforme **Figura 5.15**. Foram feitas três medições para cada fibra e uma para o dissolvente puro. Para que o ensaio seja considerado válido, as medições realizadas com a mesma fibra devem diferir em menos de um segundo entre elas.



Figura 5.15. Marcações do tubo viscosimétrico capilar.

O método consiste em medir a viscosidade específica da solução de celulose em cuprietilenodiamina e calcular o grau de polimerização médio.

A viscosidade específica é definida por (**Equação 5.7**):

$$\text{viscosidade específica} = \frac{\text{viscosidade da celulose} - \text{viscosidade do solvente}}{\text{viscosidade do solvente}} \quad \text{(Equação 5.7)}$$

A viscosidade intrínseca é definida por (Equação 5.8):

$$\text{viscosidade intrínseca} = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\text{viscosidade específica}}{c} \quad \text{(Equação 5.8)}$$

Onde, “c” é a concentração da solução (g soluto/100 cm³ de solvente).

O grau de polimerização médio viscosimétrico (GP), sendo este o quociente entre a massa molecular média viscosimétrica pela massa molecular da unidade de polimerização, está relacionado com a viscosidade intrínseca através da seguinte relação de Kuhn-Mark-Houwink-Sakurada (1940) (Equação 5.9):

$$\text{viscosidade intrínseca} = K.(GP)^\alpha \quad \text{(Equação 5.9)}$$

Onde, “K” e “α” são coeficientes característicos do sistema polímero-solvente (celulose-cuprietilenodiamina) e da unidade polimérica.

Para o sistema celulose-cuprietilenodiamina foi determinada experimentalmente, em um amplo campo de concentrações, a fórmula de Martin (1943) (Equação 5.10):

$$\text{viscosidade específica} = \text{viscosidade intrínseca} \cdot c \cdot 10^{k \cdot \text{viscosidade intrínseca} \cdot c} \quad \text{(Equação 5.10)}$$

Empregando logaritmos, a Equação 5.10 se apresenta como na Equação 5.11:

$$\log \frac{\text{viscosidade específica}}{c} = \log \text{viscosidade intrínseca} + k \cdot \text{viscosidade intrínseca} \cdot c \quad \text{(Equação 5.11)}$$

A representação gráfica da função $\log(\text{viscosidade específica}/c)$ é constituída por uma série de retas cuja tangente é proporcional à viscosidade intrínseca. O coeficiente de proporcionalidade “k” é uma constante característica do sistema considerado.

O cálculo foi efetuado calculando-se a viscosidade específica da solução segundo a seguinte fórmula (Equação 5.12):

$$\text{viscosidade específica} = \frac{t - t_0}{t_0} \quad \text{(Equação 5.12)}$$

Onde:

t_0 = tempo de queda do solvente puro;

t = tempo de queda da solução que contém a amostra.

Através do cálculo da viscosidade específica, foi utilizada uma tabela relacionando este valor com os valor de (viscosidade intrínseca.c), admitindo um “k” no valor de 0,14 determinado experimentalmente para as condições de operação descritas acima, de acordo com a **Tabela 5.1**.

Tabela 5.1. Tabela de valores determinados de viscosidade intrínseca a partir da viscosidade específica.

Valores calculados para a viscosidade específica, considerando k=0,14	Viscosidade intrínseca.c
0,1033	0,1
0,2133	0,2
0,330	0,3
0,455	0,4
0,587	0,5
0,728	0,6
0,877	0,7
1,035	0,8
1,203	0,9
1,380	1,0
1,568	1,1
1,767	1,2
1,977	1,3
2,199	1,4
2,433	1,5

Com os valores de (viscosidade intrínseca.c), dividindo-se pelo valor da concentração “c”, realiza-se em seguida o cálculo do grau de polimerização médio (expresso na **Equação 5.9**) conforme **Equação 5.13**:

$$(\text{GP})^\alpha = \frac{\text{viscosidade intrínseca}}{K} \quad (\text{Equação 5.13})$$

Considerando que $\alpha=1$ e $K=7,5 \cdot 10^{-3}$.

Considerando que o grau de polimerização (GP) é a razão da massa molecular da celulose em relação ao do seu principal monômero constituinte glicano ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$), pode se realizar uma estimativa aproximada do peso molecular médio da celulose constituinte, multiplicando-se GP por 162 (peso molecular de $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$).

5.7.9. Determinação da Quantidade de Lignina pelo método de Klason modificado

Foi adotado o método de Klason modificado visando o uso de uma menor quantidade de material e considerável diminuição do tempo necessário para a determinação do teor de lignina. A 0,3 g de amostra foram adicionados 5,0 ml de ácido sulfúrico concentrado. Após 1 hora, as amostras foram transferidas para balão de destilação. Foram adicionados 85 ml de água destilada e aquecidas em refluxo por 1 hora a 60°C. Após resfriamento, as amostras foram filtradas a vácuo, secas em estufa por 24 horas. O teor de lignina foi determinado pelo método gravimétrico (CARDOSO, 2008).

5.8. Análise Estatística dos Resultados

Dos valores determinados nos testes, foram calculados os parâmetros estatísticos de média, desvio-padrão e coeficiente de variação, conforme **Equações 5.14, 5.15 e 5.16** abaixo:

Média	$\bar{x} = \sum x/n$	(Equação 5.14)
-------	----------------------	-----------------------

Desvio-padrão	$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$	(Equação 5.15)
---------------	---	-----------------------

Coeficiente de variação	$C.V.(%) = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$	(Equação 5.16)
-------------------------	---	-----------------------

Onde “n” representa o número de amostras em cada teste e “x”, o valor de cada valor determinado no teste.

6. Resultados e Discussão

6.1. Maceração em água

A maceração das fibras, conforme o tópico 5.2, foi realizada em água a 37°C, com tempo de duração de 28 dias. Durante este período, a evaporação, bem como o processo de liberação das fibras, foi diariamente acompanhado. Este processo de acompanhamento foi de fundamental importância para a extração das fibras dos seus respectivos caules, pois se a maceração for inadequada a fibra ficará cheia de resíduos e as cascas do caule não se soltarão. Porém uma boa maceração retira todas as impurezas, a casca e demais resíduos. O período também não pode ser muito longo, quanto mais longo for esse processo, menos resistentes serão as fibras ao serem submetidas ao uso e desgaste durante os ensaios (SOUZA, 2008).

Para a maceração das fibras do presente estudo foram utilizados frascos escuros, com a tampa somente encostada nas suas bocas de modo a, respectivamente, estimular a proliferação de microrganismos aeróbios em detrimento de anaeróbios e evitar efeitos prejudiciais ao crescimento microbiano oriundos da incidência de luz solar ou ambiente. As fibras após maceração apresentaram-se conforme **Figura 6.1** e **Anexo I**.



Figura 6.1. *Sida rhombifolia* L. após maceração: (a) em fundo branco (b) em fundo preto.

Através deste processo foi possível obter fibras longas e capazes de serem analisadas nos testes subsequentes. Tal processo poderia também ser realizado através de maceração enzimática com pectinases, o que diminuiria consideravelmente o tempo de tratamento das fibras (UENOJO; PASTORE, 2007). Entretanto através da maceração natural microbiana foi possível observar a liberação e integridade das fibras obtidas, bem acompanhar as fases de fermentação natural da planta em água.

6.2. Testes físicos

6.2.1. Climatização das Amostras

Todos os testes foram realizados com amostras previamente climatizadas, por um período mínimo de 48 horas, a 20°C e umidade relativa de 65%, conforme norma ABNT NBR ISO 139:2008 (antiga ABNT NBR 8428 de 1984).

6.2.2. Comprimento

O comprimento foi determinado por meio manual com uso de régua (BAYER-FIBRAS 100%, 2005; CONTROLE QUALIDADE – Protocolos de Testes Físicos, 2001; RIBEIRO; ANDRADE FILHO, 1987; ARAÚJO e CASTRO, 1984).

Em virtude da limitação de recursos laboratoriais, apesar de se tratarem de fibras de origem natural, não foi possível a determinação de seu comprimento *in natura*. Os caules foram cortados para que pudessem caber nos recipientes onde ocorreu a maceração. Deste modo, o comprimento máximo das fibras obtidas após a maceração ficou limitado ao tamanho desse corte inicial dos caules.

A determinação dos comprimentos das fibras foi realizada com finalidade de determinação dos títulos médios das fibras, valores esses necessários aos ensaios tensesis de tração (itens 6.2.3 e 6.2.4).

6.2.3 Determinação do Título Médio das Fibras

Após a medição do comprimento das fibras foi calculado o título das mesmas. Este método foi adaptado da norma ISO 1973-1995, método gravimétrico, ou seja, determinação da quantidade de massa por unidade de comprimento. Realizou-se a pesagem dos feixes de fibras em balança analítica (com 20 fibras de cada espécie, o que correspondente a cada amostra a ser utilizada no ensaio de tração das fibras) e tirou-se a massa média de cada um deles.

O título médio foi calculado em Tex (massa em gramas de 1000 metros de fibra) através da equação já apresentada (ver item 5.3.3, **Equação 5.1**). Na **Tabela 6.1** verifica-se o título médio obtido para cada espécie, bem como o desvio-padrão e coeficiente de variação.

O cálculo do título das fibras foi realizado com as amostras devidamente condicionadas, pois alterações do teor de umidade na fibra, em condições de desconformidade da norma (20°C e 65% de umidade relativa ambiente), afetariam significativamente os resultados.

6.2.4. Ensaio de Tração das Fibras

Os ensaios de tração foram realizados seguindo a norma ASTM D 3 822-2001, que propõe o ensaio para propriedades de tração de fibras têxteis singelas. Nestes ensaios foram determinadas as médias, desvios-padrão e coeficientes de variação dos valores de carga máxima (N), carga de ruptura (N), tenacidade na ruptura (cN/tex), extensão na carga máxima (mm), extensão na carga de ruptura (mm), porcentagem de alongamento na ruptura (%) e módulo de Young (N/tex). Também foram geradas as curvas de tenacidade versus porcentagem de alongamento na ruptura para todos os testes realizados com as amostras de cada fibra vegetal. A distância entre garras 25 mm, velocidade das garras 20 mm/min e a célula de carga empregada para os testes correspondeu a 10 N (ou aproximadamente 1 kgf). Em todos os casos, foram empregados mordentes de garras emborrachados com dimensões de 2,5 x 2,5 cm.

O *software* do aparelho gera um gráfico com os valores de tenacidade e alongamento, conforme **Figura 6.2**, que posteriormente podem ser analisados e comparados entre si. Os gráficos com os valores de tenacidade x alongamento para todas as fibras estão apresentados no **Anexo II**.

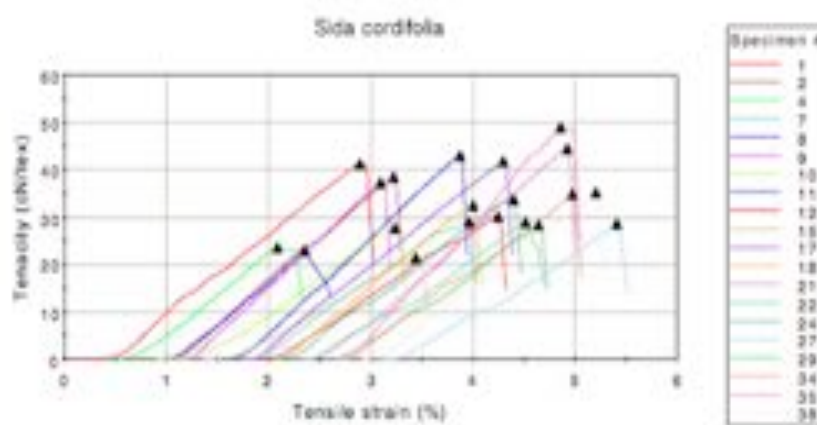


Figura 6.2. Curvas tenacidade (cN/tex) por percentual de alongamento (%) do teste realizado para a espécie *Sida cordifolia* L.

Todos os testes foram realizados com o devido cuidado, para que os valores obtidos fossem representativos e válidos para a fibra analisada (resultados completos apresentados no **Anexo III**). Alguns resultados foram desconsiderados por conta de algum tipo de problema em sua realização. O motivo está em que o aparelho antes do início do processo de tração, aplica uma pré-tensão (aproximadamente 0,5 N) de modo a fazer com que a fibra fique em condições padrões de estiramento antes do início do teste de tração em si

mesmo. Deste modo, em algumas vezes, a própria pré-tensão já era responsável pela ruptura da fibra. Nesses casos, os testes de tração, se não interrompidos pelo operador, continuavam sem qualquer resistência até atingir o limite de afastamento das garras permitido pela programação do dinamômetro. Em alguns outros casos, o corpo-de-prova escolhido já possuía falhas ou quebras em sua estrutura longitudinal, levando à obtenção de resultados errôneos, geralmente com valores muito abaixo dos demais. Para alguns outros poucos casos, os corpos-de-prova eram muito finos (baixos valores relativos de tex) ou as fibras deslizavam umas sobre as outras, implicando, para ambas as situações, em soltura das fibras dos mordentes durante os testes. Por fim, também foram desconsiderados os resultados obtidos em testes nos quais as fibras quebrassem junto à base dos mordentes superiores ou inferiores. Isso provavelmente se deu por conta da ruptura, que foi devida à quebra da fibra pelo esmagamento promovido pelos mordentes que a seguravam e não propriamente pelo teste de tração em andamento.

Os resultados estão expressos na **Tabela 6.1**, em média, desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 6.1. Valores dos resultados válidos obtidos nos testes com dinamômetro. Os valores estão expressos em média e desvio-padrão. Em parênteses se encontram os valores dos coeficientes de variação.

Espécie	Densidade Linear (tex)	Carga Máxima (N)	Carga de Ruptura (N)	Tenacidade na Ruptura (cN/tex)	Alongamento Máximo (mm)	Alongamento Ruptura (mm)	Alongamento Percentual Ruptura (%)	Módulo de Young (N/tex)
<i>Sida rhombifolia</i> L.	27±4 (13%)	3±0,9 (27%)	3±1 (27%)	12±4 (28%)	0,5±0,1 (30%)	0,5±0,1 (30%)	2,0±0,6 (30%)	10±2 (23%)
<i>Sida carpinifolia</i> L.f.	21±5 (21%)	6±1 (21%)	6±1 (21%)	31±8 (26%)	0,6±0,05 (9%)	0,5±0,05 (9%)	2,0±0,2 (9%)	20±4 (19%)
<i>Sida cordifolia</i> L.	25±4 (17%)	8±1 (17%)	8±1 (17%)	33±7 (22%)	0,6±0,1 (19%)	0,6±0,1 (19%)	3,0±0,4 (18%)	19±3 (15%)
<i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Fryxell	25±3 (10%)	6±1 (23%)	6±1 (23%)	24±6 (24%)	0,6±0,1 (18%)	0,6±0,1 (18%)	3,0±0,4 (18%)	15±3 (21%)
<i>Malvastrum coromandelium</i> (L.) Gurck	29±6 (20%)	6±2 (31%)	6±2 (33%)	21±8 (36%)	0,6±0,2 (32%)	0,6±0,2 (30%)	3,0±0,8 (30%)	13±3 (25%)
<i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R. E. Fries	28±6 (22%)	7±2 (25%)	7±2 (25%)	27±5 (17%)	0,5±0,1 (20%)	0,5±0,1 (20%)	2,0±0,4 (20%)	18±3 (16%)

Ao observar os resultados expressos para densidade linear na **Tabela 6.1** e a **Figura 6.3**, é possível verificar que não se pode afirmar que hajam diferenças estatisticamente significativas entre esses valores (com médias variando apenas de 21 a 28,9 tex).

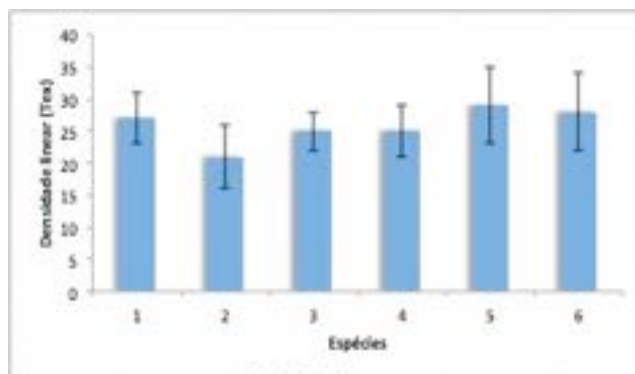


Figura 6.3. Densidade linear (Tex): 1 - *Sida rhombifolia* L.; 2 - *Sida carpinifolia* L. f.; 3 - *Sidastrum paniculatum* (L.) Frixell; 4 - *Sida cordifolia* L.; 5 - *Malvastrum coromandelium* (L.) Gurck; 6 - *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R.E. Fries. As medidas estão representadas por média e desvio-padrão.

Com relação aos resultados de carga de ruptura, expressos na **Tabela 6.1** e **Figura 6.4**, exceptuando-se o valor obtido para a *Sida rhombifolia* L., pode se realizar afirmação análoga entre os valores das demais espécies.

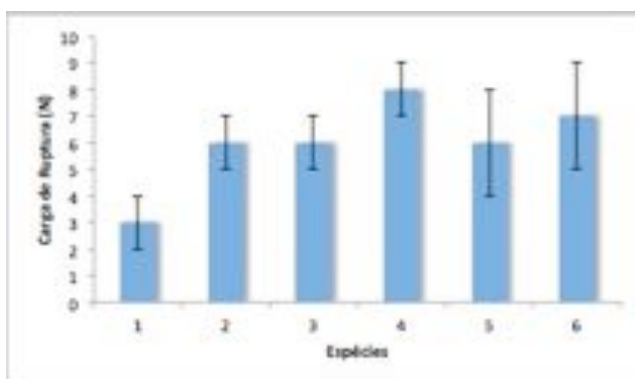


Figura 6.4. Carga de ruptura (N): 1 - *Sida rhombifolia* L.; 2 - *Sida carpinifolia* L. f.; 3 - *Sidastrum paniculatum* (L.) Frixell; 4 - *Sida cordifolia* L.; 5 - *Malvastrum coromandelium* (L.) Gurck; 6 - *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R.E. Fries. As medidas estão representadas por média e desvio-padrão.

Nota-se que os valores de carga máxima e os de carga de ruptura apresentaram valores muito semelhantes (**Tabela 6.1**), o que, em fibras com propriedades elásticas mais evidenciadas (como, por exemplo, as que incorporam elastano), não ocorreria, visto que nestes casos a carga máxima pode ser distinta à de ruptura. Porém, para fibras naturais

vegetais é esperado que os valores de carga máxima sejam aproximadamente os mesmos que os de carga de ruptura (SAVILLE, 2007). Isto vale também para os valores de alongamento máximo e de ruptura que, em quase todas as fibras, apresentaram resultados semelhantes (**Tabela 6.1**). Já os valores de tenacidade, os quais representam o quociente da carga de ruptura pela densidade linear de cada espécie, apresentaram uma variação significativa (com médias variando de 12 a 33 cN/tex) (**Tabela 6.1 e Figura 6.4**). Observa-se que a faixa dessa variação (desvio-padrão) é maior do que para as de densidade linear, carga máxima e carga de ruptura, sendo a *Sida cordifolia* L. a que apresentou maior tenacidade dentre as fibras estudadas. Segundo Cardoso (2009), para fibras naturais, ocorre maior variabilidade nos resultados para esses materiais, justamente considerando os diversos fatores que influenciam sua origem.

Ao comparar os resultados obtidos (**Tabela 6.1**) com as características correspondentes às espécies de reconhecida empregabilidade têxtil (**Tabela 6.2**) verifica-se que dentre as fibras analisadas somente a de *Sida rhombifolia* L. não possui valores de tenacidade compatíveis com as de fibras naturais expressas na **Tabela 6.2**, visto que a tenacidade desta espécie está muito abaixo de 20 cN/tex.

Tabela 6.2. Valores de tenacidade, alongamento porcentual e módulo de Young para espécies de reconhecida empregabilidade têxtil.

	Material	Tenacidade* (cN/tex)	Alongamento* (%)	Módulo de Young* (N/tex)
Fibras Naturais	Algodão**	26,5 – 43,3	3 - 7	5,3 – 6,2
	Algodão mercerizado	30,0	7	-----
	Linho**	23,0 – 68,0	2,7 – 3,3	15,5
	Cânhamo	51,2 – 60,0	1,8	19,4
	Juta**	26,5 – 51,2	1,7 – 2,0	17,9
	Abacá	53,0 – 66,2	2 - 3	17,0
	Rami	48,6	3 – 7	16,2
	Sisal	35,3 – 44,1	2 - 3	12,4
Fibras Sintéticas	Náilon 6.6	40,6 – 52,1	24 - 40	1,1 – 2,2
	Poliéster	38,8 – 44,1	14 - 25	1,6 – 3,2
	Polietileno	39,7 – 70,6	20 - 80	0,5 – 0,9
	Polipropileno	35,3 – 61,8	15 - 30	1,1 – 4,1
	Vidro	53,0 – 64,5	3,4	15,6 – 19,0

*Valores adaptados de Kaswell (1963).

**De acordo com Reddy e Yang (2005), os módulos de Young do algodão, linho e juta são respectivamente 4,9, 17,9 e 17,2 N/tex (valores adaptados às unidades do presente estudo).

Porém nas características de alongamento todos valores experimentais das fibras deste estudo (**Tabela 6.1**), inclusive para a *Sida rhombifolia* L., mostraram-se ser compatíveis com os de fibras naturais de reconhecida empregabilidade têxtil (**Tabela 6.2**).

Inclusive, dentre as fibras analisadas neste estudo, referentes aos seus valores de alongamento de ruptura, não se pode afirmar que hajam diferenças estatisticamente significativas entre esses valores, como observa-se na **Figura 6.5**.

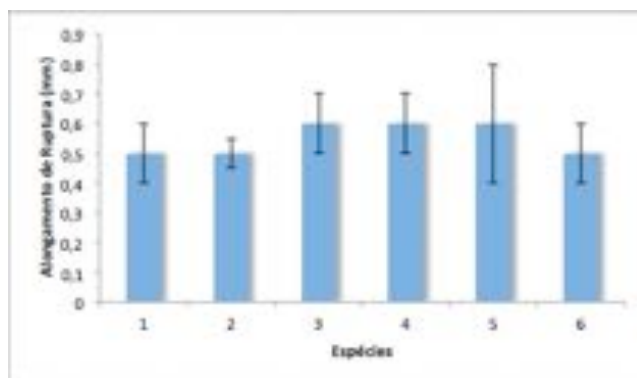


Figura 6.5. Alongamento de ruptura (mm): 1 - *Sida rhombifolia* L.; 2 - *Sida carpinifolia* L. f.; 3 - *Sidastrum paniculatum* (L.) Frixell; 4 - *Sida cordifolia* L.; 5 - *Malvastrum coromandelium* (L.) Gurck; 6 - *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R.E. Fries. As medidas estão representadas por média e desvio-padrão.

Para o módulo de Young, como é possível verificar na **Figura 6.6** que os valores das médias são diferentes para cada fibra. Porém ao observar os valores de desvio padrão é possível concluir que, exceptuando-se o valor obtido para a *Sida rhombifolia* L., o qual é inferior aos demais, é possível verificar que não se pode afirmar que hajam diferenças estatisticamente significativas entre esses valores. Também em comparação com os dados apresentados na **Tabela 6.2**, é possível comparar a rigidez de tais fibras com as de espécies vegetais como linho, cânhamo, juta, abacá e rami (também fibras liberianas de caule como as do presente estudo) e sisal (fibra dura de folha).

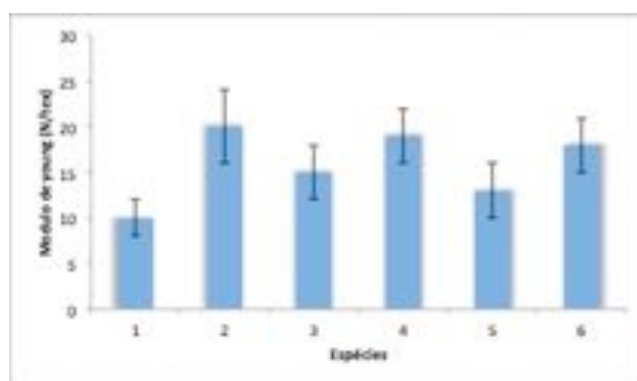


Figura 6.6. Módulo de Young (N/tex): 1 - *Sida rhombifolia* L.; 2 - *Sida carpinifolia* L. f.; 3 - *Sidastrum paniculatum* (L.) Frixell; 4 - *Sida cordifolia* L.; 5 - *Malvastrum coromandelium* (L.) Gurck; 6 - *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R.E. Fries. As medidas estão representadas por média e desvio-padrão.

Desse modo, com os testes tenséis apresentados foi possível verificar que, apesar de os valores de tenacidade obtidos para as espécies em estudo estarem abaixo dos de cânhamo, rami e sisal e dos valores de fibras sintéticas, os resultados obtidos sugerem que tais espécies poderiam ter empregabilidade têxtil similar às espécies de fibras naturais já em uso no mercado, com potencial para serem empregadas de maneira similar ao linho e a juta, se levado em conta sua tenacidade e, verificando os valores de alongamento das fibras, estes são comparáveis aos do algodão, linho, abacá, rami e sisal. Possuem módulos de Young superiores ao do algodão e semelhantes aos demais elencados na **Tabela 6.2**, o que pode ser considerado como potencial para processos de fiação, tecelagem e produção de compósitos, assim como as espécies de reconhecida empregabilidade têxtil.

6.3. Determinação do Teor de *Regain* e Umidade

Os resultados obtidos referentes ao Conteúdo Percentual de Umidade (ou “Umidade”) e a Recuperação Porcentual de Umidade (ou “*Regain*”) encontram-se na **Tabela 6.3** e **Figura 6.7**.

Tabela 6.3. Valores dos resultados de umidade e *regain* (três determinações por espécie). Os valores estão expressos em média e desvio-padrão. Em parênteses se encontram os valores dos coeficientes de variação.

Espécie	Umidade (%)	<i>Regain</i> (%)
<i>Sida rhombifolia</i> L.	12,5±1,3 (10%)	14,4±1,5 (10%)
<i>Sida carpinifolia</i> L. f.	9,7±2,2 (22%)	10,8±2,7 (25%)
<i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Fryxell	12±1,8 (15%)	13,7±2,3 (17%)
<i>Sida cordifolia</i> L.	15,0±3,1 (21%)	17,7±4 (23%)
<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Gurck	14,9±1,7 (12%)	17,8±3,5 (20%)
<i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R. E. Fries	10,2±1,9 (19%)	11,4±2 (22%)

É possível verificar na **Tabela 6.3** que os valores de umidade (calculados sobre o peso original) são um pouco menores do que os de *regain* (calculados sobre o peso seco). Normalmente os valores de *regain* são mais comuns e mais empregados em transações comerciais têxteis (como, por exemplo, compra e venda de fardos de algodão cru) e em literatura (SAVILLE, 2007; KASWELL, 1963) do que os de umidade.

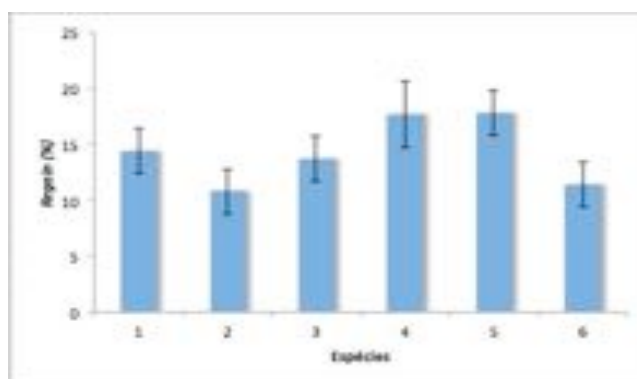


Figura 6.7. *Regain* (%): 1 - *Sida rhombifolia* L.; 2 - *Sida carpinifolia* L. f.; 3 - *Sidastrum paniculatum* (L.) Frixell; 4 - *Sida cordifolia* L.; 5 - *Malvastrum coromandelium* (L.) Gurck; 6 - *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R.E. Fries. As medidas estão representadas por média e desvio-padrão.

Os valores de obtidos para as espécies estudadas são compatíveis com outras fibras celulósicas de reconhecida empregabilidade têxtil. Todas elas possuem *regain* superior ao algodão (8,5%) e muito semelhantes ao algodão mercerizado (10,3%), linho (12%), cânhamo (de 8 a 12%) e juta (13,8%) (KASWELL, 1963).

Estes testes mostraram que as fibras apresentadas possuem afinidade por água (fibras hidrofílicas), o que indica que estas podem ser confortáveis quando utilizadas em clima úmido devido a sua boa absorção de umidade, além de indicar também uma provável afinidade tintorial, facilitando tingimentos e acabamentos químicos.

A estrutura física de uma fibra descreve a quantidade de material cristalino (ordenado) e amorfo (desordenado), sua orientação em relação ao eixo da fibra e o tamanho dos cristais presentes em uma fibra. Todos os materiais celulósicos, como algodão, rami e madeira, têm o mesmo polímero e estruturas celulares unitárias, mas as fibras têm propriedades muito diferentes. As diferenças são devidas às diferenças na orientação das regiões cristalinas e amorfas em relação ao eixo da fibra, no tamanho e perfeição das regiões cristalinas, na relação de quantidades de materiais cristalinos e amorfos, e nas quantidades de materiais de tipos não-celulósicos. As fibras com maior capacidade de recuperação (*regain*) devem essa característica à menor cristalinidade e tamanho dos cristais de celulose. Porém, apesar do linho e juta possuírem um grau de cristalinidade relativamente alto, seu *regain* elevado é devido à presença de substâncias não-celulósicas, especialmente hemicelulose e pectina, as quais são hidrofílicas (REDDY; YANG, 2005).

Desse modo, ao verificar o elevado *regain* das fibras neste estudo, é possível supor que isto ocorra devido à presença de uma maior quantidade de material amorfo em relação

ao cristalino em sua estrutura e também pela presença de substâncias não-celulósicas, especialmente hemicelulose, a qual é hidrofílica conforme apontado por Reddy e Yang (2005).

6.4. Microscopia das fibras

Conforme se apontou no **item 2.10.5**, o complemento da identificação das fibras vegetais é possível mediante observação microscópica da secção transversal de um pequeno feixe de fibras. As fibras foram analisadas em sua visão longitudinal (com aumento de até 128 vezes) e transversal (com aumento de até 1.280 vezes) através de microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura (MEV ou SEM) conforme demonstram as **Figuras 6.8 a 6.10**.

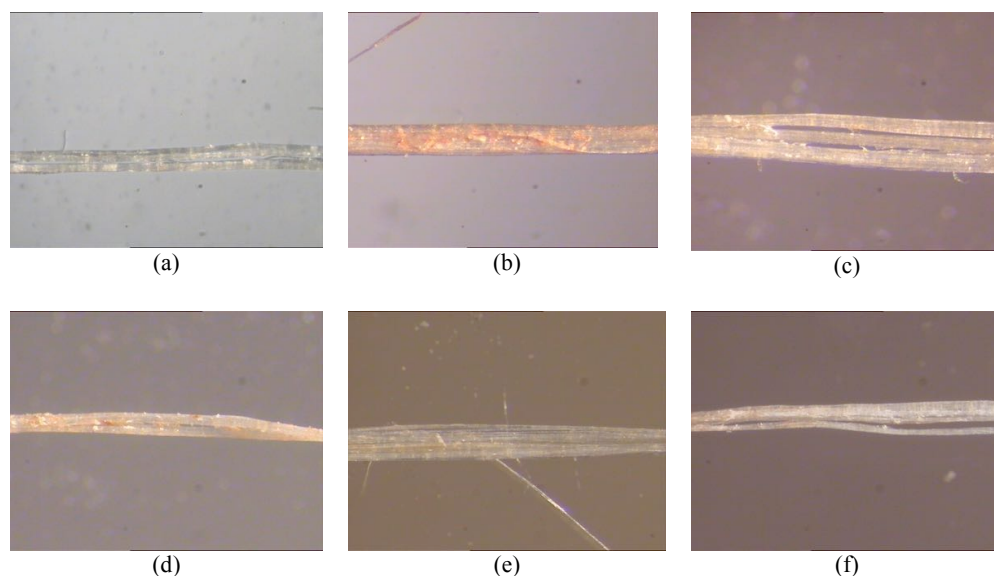


Figura 6.8. Microscopias longitudinais das fibras (a) *Sida rhombifolia* L.; (b) *Sida carpinifolia* L. f.; (c) *Sida cordifolia* L.; (d) *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell; (e) *Malvastrum coromandelium* (L.) Gurck; (f) *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries. As imagens foram obtidas com um aumento de 80x.

6.4.1. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Foram obtidas as seguintes visões longitudinais das fibras a partir de microscopia eletrônica:

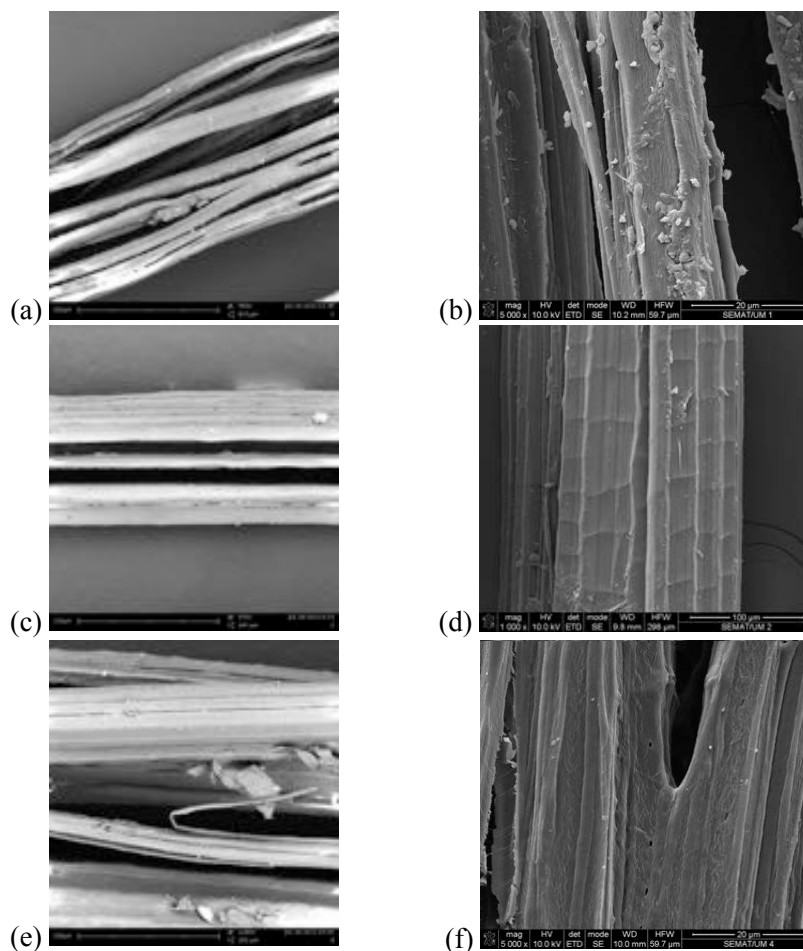


Figura 6.9. Microscopias longitudinais das fibras (a) e (b) *Sida rhombifolia* L., (c) e (d) *Sida carpinifolia* L. f., (e) e (f) *Sida cordifolia* L., As escalas indicadas dentro de cada figura correspondem a: (a) 100 microns; (b) 20 microns; (c) 100 microns; (d) 100 microns; (e) 50 microns; (f) 20 microns. As imagens (b), (d) e (f) foram realizadas em *Ultra-high resolution Field Emission Gun Scanning Electron Microscopy* (FEG-SEM), NOVA 200 Nano SEM (FEI Company, EUA) na UMINHO (CUNHA; RELVAS, 2011).

Conforme **Figuras 6.9 e 6.10**, nas microscopias eletrônicas longitudinais das fibras não foram identificadas significativas convoluções das fibras em torno de si mesmas ou padrões predominantes como estrias e/ou ranhuras que permitisse classificar as fibras do presente estudo baseados nestes padrões longitudinais, caso que ocorre na classificação do algodão, o qual apresenta convoluções em sua vista longitudinal (**Figura 6.11**) (SAVILLE, 2007; KASWELL, 1963).

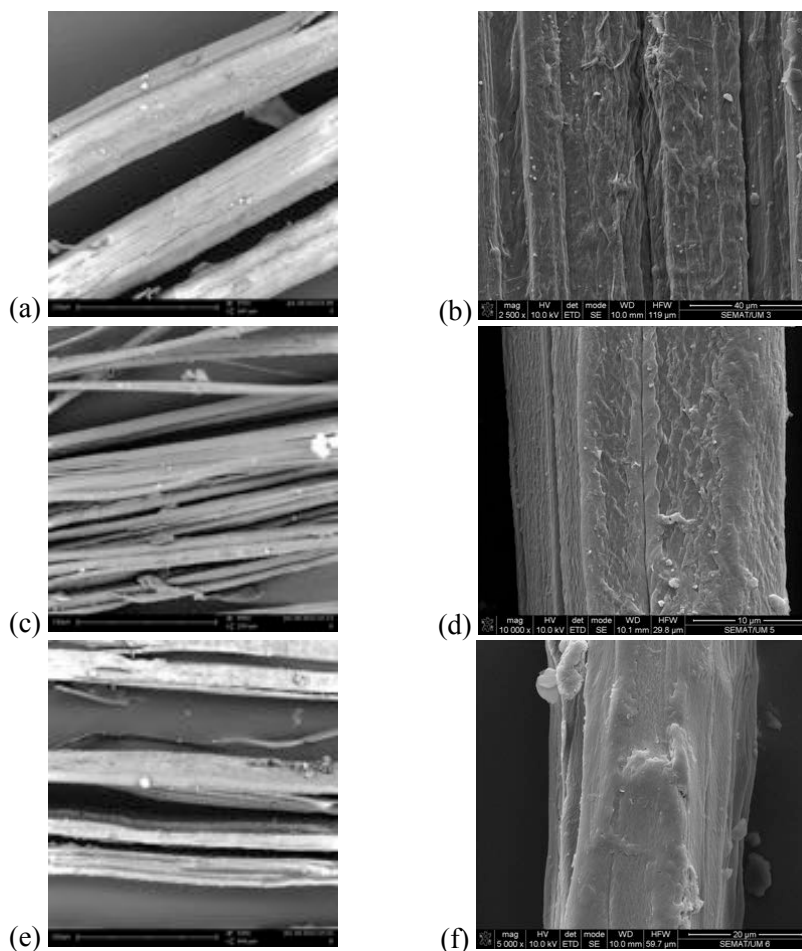


Figure 6.10. Microscopias longitudinais das fibras (a) e (b) *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell, (c) e (d) *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck, (e) e (f) *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries. As escalas indicadas dentro de cada figura correspondem a: (a), (c) e (e) 50 microns; (b) 40 microns; (d) 10 microns e (f) 20 microns. As imagens (b), (d) e (f) foram realizadas em *Ultra-high resolution Field Emission Gun Scanning Electron Microscopy* (FEG-SEM), NOVA 200 Nano SEM (FEI Company, EUA) na UMINHO (CUNHA; RELVAS, 2011).

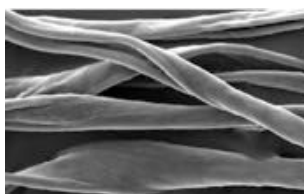


Figura 6.11 Microscopia longitudinal das fibras de algodão onde são visualizadas suas convoluções (COTTON FIBER GENOMICS PROJECT, 2012).

Não foi constatada a presença de microfibrilas soltas em qualquer das microscopias realizadas para as fibras do presente estudo (**Figura 6.9** e **Figura 6.10**). Através da microscopia eletrônica no sentido longitudinal, também foi possível confirmar a

porosidade do material, o que era esperado por tratarem-se de fibras celulósicas. Esta característica pode indicar facilidade de tingimento.

A presença de ranhuras em todas as fibras pode ser indicativo de coesividade dessas fibras em um eventual processo de torção e fiação conjunta. A título de ilustração, apesar de ser uma fibra animal, a lã ovina possui alta coesividade na fiação e feltragem pela presença em sua fibra de uma estrutura longitudinal com escamas (KASWELL, 1963).

6.4.2. Microscopia óptica transversal

A microscopia óptica das fibras foi realizada nas fibras *in natura*, conforme verifica-se na **Figura 6.12**, e também utilizando solução de iodo, conforme **Figura 6.13**, esta última com a finalidade de promover uma melhor visualização da parte transversal das fibras.

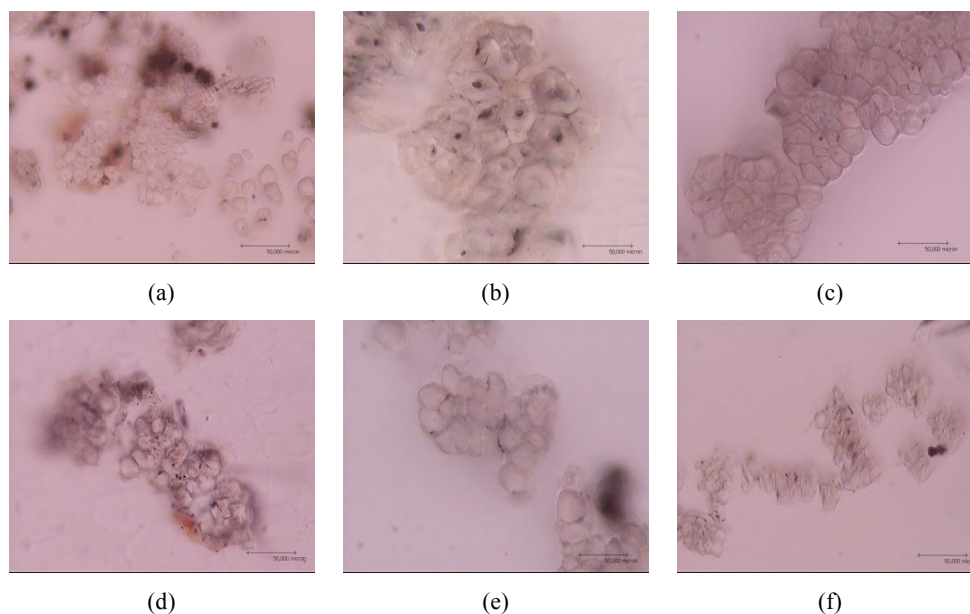


Figura 6.12. Microscopia transversal das fibras (a) *Sida rhombifolia* L. (aumento de 640x); (b) *Sida carpinifolia* L. f. (aumento de 1280x); (c) *Sida cordifolia* L. (aumento de 1280x); (d) *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell (aumento de 640x); (e) *Malvastrum coromandelium* (L.) Gurck (aumento de 1280x); (f) *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries (aumento de 1280x). As escalas indicadas dentro de cada figura correspondem a 50 microns.

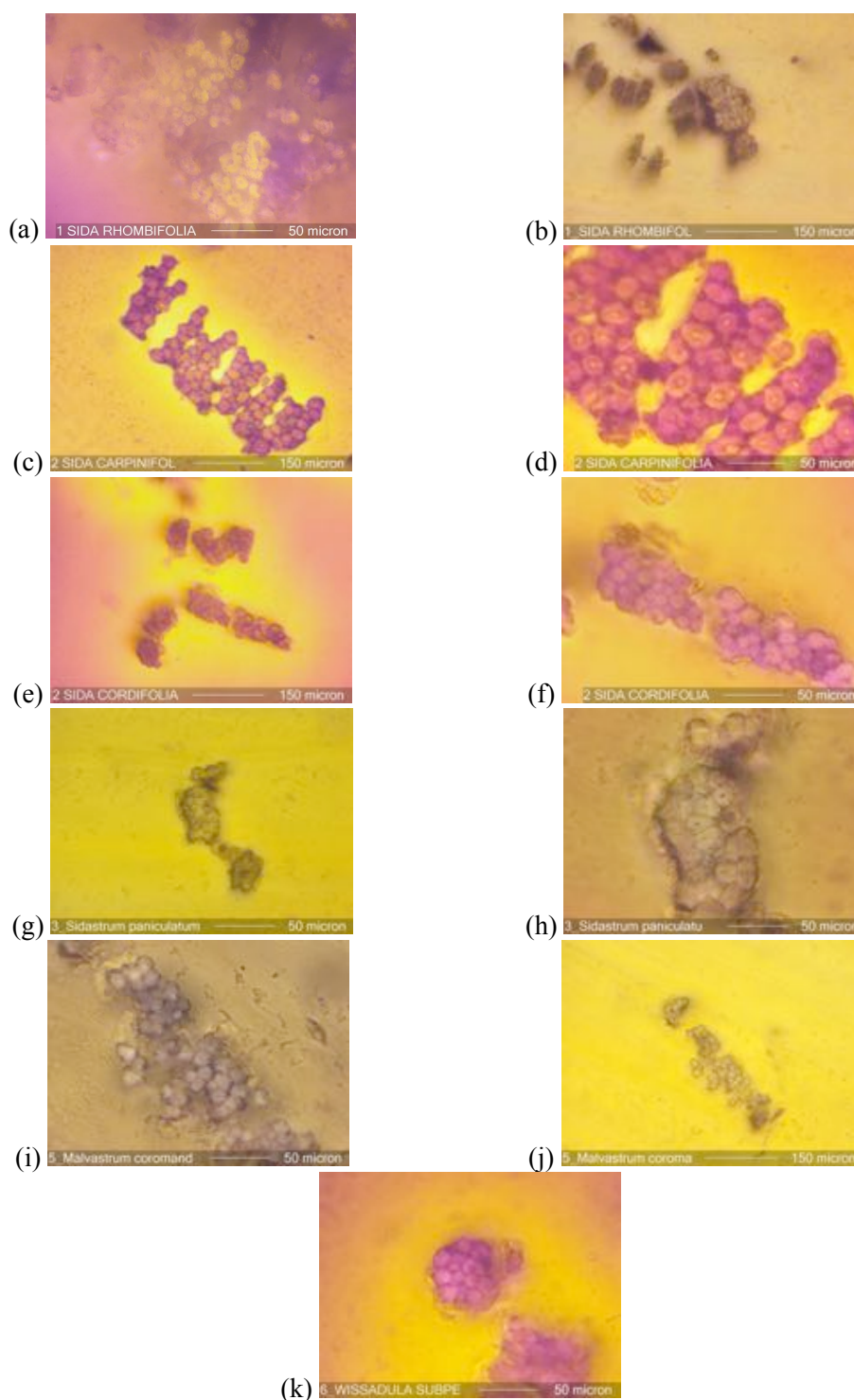


Figura 6.13. Vista transversal realizada com solução de iodo. (a) e (b) *Sida rhombifolia* L.; (c) e (d) *Sida carpinifolia* L. f.; (e) e (f) *Sida cordifolia* L.; (g) e (h) *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell; (i) e (j) *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck; (k) *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries. As escalas indicadas dentro de cada figura correspondem a (a), (d), (f), (g), (h), (i) e (k): 50 microns e (b), (c), (e), e (j): 150 microns.

Conforme visualizado nos ensaios de microscopia óptica transversal com e sem emprego de solução de iodo (**Figura 6.12 e Figura 6.13**), é possível verificar um padrão celular para todas as fibras do presente estudo, padrão este que é semelhante as fibras celulósicas de reconhecida empregabilidade têxtil.

As microscopias ópticas transversais das fibras mostram que todas essas são multicelulares (**Figuras 6.12 e 6.13**). Isto já é esperado em consideração da natureza dessas fibras (SATYANARAYAN et al, 1986). Deste modo, no presente estudo, de acordo com a estrutura de suas células, foi identificado um padrão celular de paredes grossas e lumens bem definidos, semelhantes aos da juta, sisal, abacá e *kenaf*, conforme **Figura 6.14 e Tabela 6.4**.

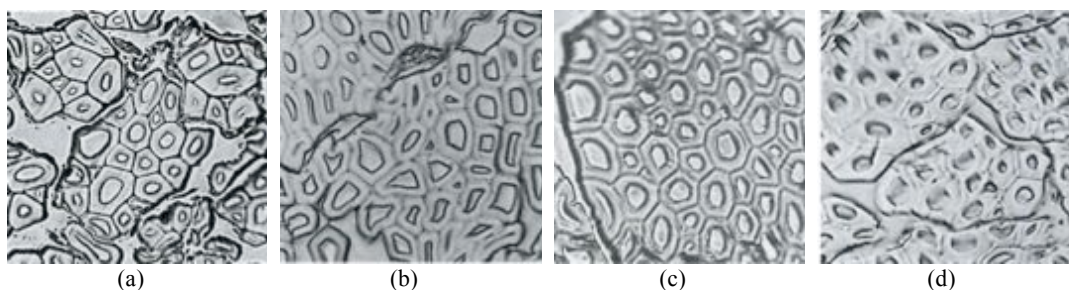


Figura 6.14. Microscopia transversal de: (a) juta; (b) sisal; (c) abacá; (d) *kenaf*, todas com aumento de 500 vezes (MALUF; KOLBE, 2003).

O exame das seções transversais por microscopia óptica também se presta a avaliação da integridade da estrutura celular das fibras e da adequação do tempo de maceração para a extração destas. Em caso de ultra-maceração, são visíveis os danos às estruturas celulares, tais como deformação do formato celular ou formação de grandes orifícios oriundos do dano a essas estruturas (GAÑÁN et al, 2004). No presente estudo, as microscopias ópticas da seção transversal, correspondentes às espécies analisadas, mostram plena integridade de suas estruturas celulares. Isso significa que os tempos do processo de maceração foram adequados às extrações das fibras e que não ocorreu ultra-maceração que provocasse dano às estruturas celulares.

Conforme os dados expressos na **Tabela 6.4**, os valores obtidos de diâmetros celulares para espécies neste estudo (com médias variando entre 12 a 18 μm) são compatíveis com os valores de espécies de reconhecida empregabilidade têxtil. De acordo com Reddy e Yang (2005), as faixas de dimensões unitárias celulares correspondem a 12,0-25,0 μm para o algodão, 5,0-76,0 μm para o linho e 15,0-25,0 μm para a juta.

Tabela 6.4. Padrões de microscopia transversal de acordo com semelhança com microscopias de espécies de empregabilidade têxtil e valores de diâmetro celular representados pelas respectivas médias e desvios-padrão.

Espécie	Semelhança de padrão de microscopia	Diâmetro celular (μm)
<i>Sida rhombifolia</i> L.	Juta, sisal, abacá, kenaf	13 \pm 2
<i>Sida carpinifolia</i> L. f.	Juta, sisal, abacá, kenaf	18 \pm 3
<i>Sida cordifolia</i> L.	Juta, sisal, abacá, kenaf	14 \pm 2
<i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Fryxell	Juta, sisal, abacá, kenaf	16 \pm 1
<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Gurck	Juta, sisal, abacá, kenaf	14 \pm 1
<i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R. E. Fries	Juta, sisal, abacá, kenaf	12 \pm 1

6.4.3 Microscopia de luz polarizada

Através do microscópio de luz polarizada foram obtidas as seguintes imagens:

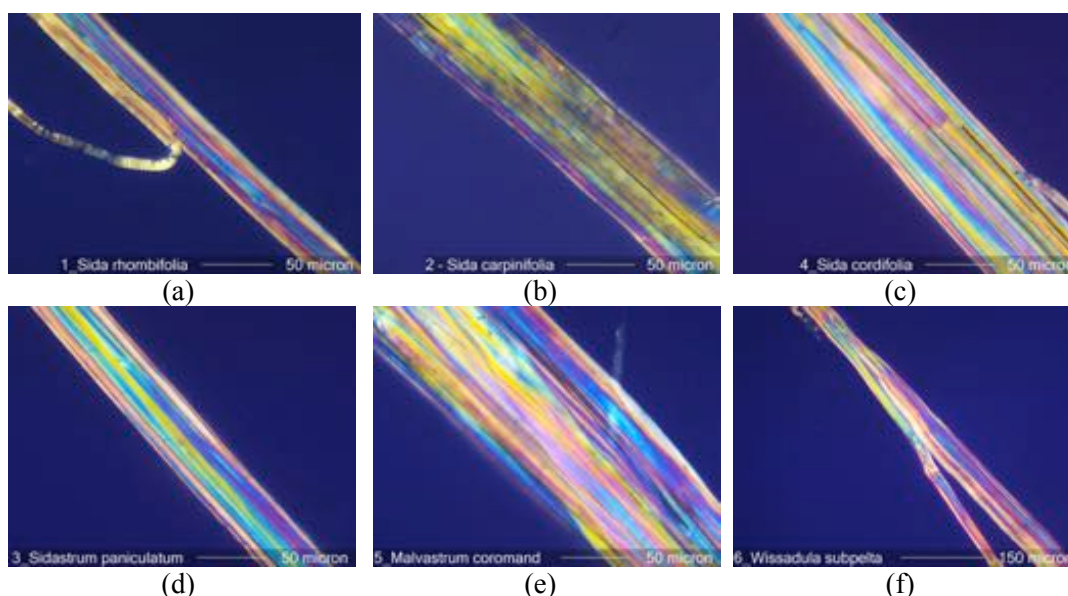


Figura 6.15. Microscopias de luz polarizada: (a) *Sida rhombifolia* L.; (b) *Sida carpinifolia* L. f.; (c) *Sida cordifolia* L.; (d) *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell; (e) *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck; (f) *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries. As escalas estão indicadas na parte inferior das imagens – (a) a (e): 50 microns; (f): 150 microns.

Através da microscopia de luz polarizada, podem-se detectar diferenças na velocidade da luz ao passar no interior dos materiais (ALDABA et al, 2006). No caso das fibras têxteis, estas imagens auxiliam a detectar diferenças de cristalinidade entre as fibras, uma vez que a cor de interferência apresentada por um material corresponde a diferença de percurso ou atraso (Δ) entre os raios rápido e lento que deixam o mesmo (NARDY, 2007). Este ensaio pode ser interpretado também quantitativamente, através da análise da birrefringência óptica, onde são determinadas as velocidades dos raios incidentes em todos os cristais presentes na fibra (DAVIDSON, 2009). Entretanto, a metodologia utilizada não

permitiu tal análise. Nas imagens obtidas para as fibras do presente estudo, analisaram-se as características morfológicas das fibras sob a luz polarizada de maneira qualitativa.

Através destas análises (**Figura 6.15**), verificaram-se semelhanças com as fibras de kenaf, cânhamo e linho, conforme **Figura 6.16**, sobretudo com a fibra de linho, a qual apresenta padrões e até mesmo ranhuras semelhantes as encontradas nas seis fibras estudadas. Ao observar estas imagens pode-se supor que o cânhamo tenha uma maior cristalinidade, ao passo que o kenaf apresenta uma menor cristalinidade dentre as fibras mencionadas da **Figura 6.16**.

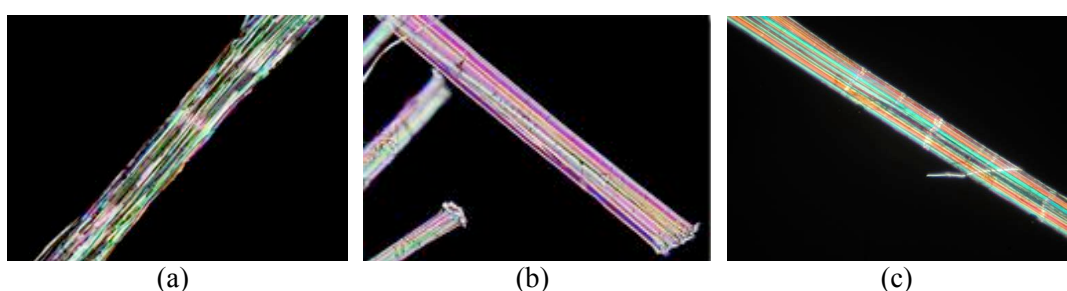


Figura 6.16. Imagens de fibras de (a) kenaf (DAVIDSON, 2003); (b) cânhamo (DAVIDSON, 2006) e (c) linho (ALPINE MEADOWS GUILD, 2014), obtidas por microscopia de luz polarizada com aumento de 400x.

Com relação a fibra de algodão, através da microscopia de luz polarizada foi possível confirmar o que foi visualizado nas microscopias longitudinais, óptica e eletrônica (**itens 6.4 e 6.4.1**), as quais mostraram que as fibras do presente estudo não apresentaram convoluções e padrões longitudinais comparáveis com a fibra de algodão. No entanto, cabe frisar que a fibra de algodão é unicelular (SAVILLE, 2007; KASWELL, 1963), ao passo que as fibras do presente estudo são multicelulares. Na **Figura 6.17** é possível visualizar a microscopia de luz polarizada para a fibra de algodão.

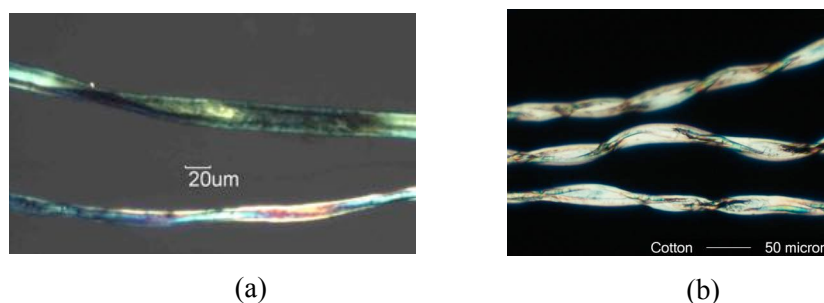


Figure 6.17. Imagens de fibras de algodão obtidas por microscopia de luz polarizada (MICROLAB GALLERY, 2013). As escalas indicadas nas imagens correspondem a (a):20 microns e (b) 50 microns.

6.5 Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

Os ensaios de FTIR apresentaram gráficos como resultados, os quais podem ser visualizados com maior precisão no **Anexo VII**. Para facilitar a comparação com a literatura, bem como a interpretação dos dados, apresenta-se a **Figura 6.18**, a qual mostra todas as curvas obtidas reunidas.

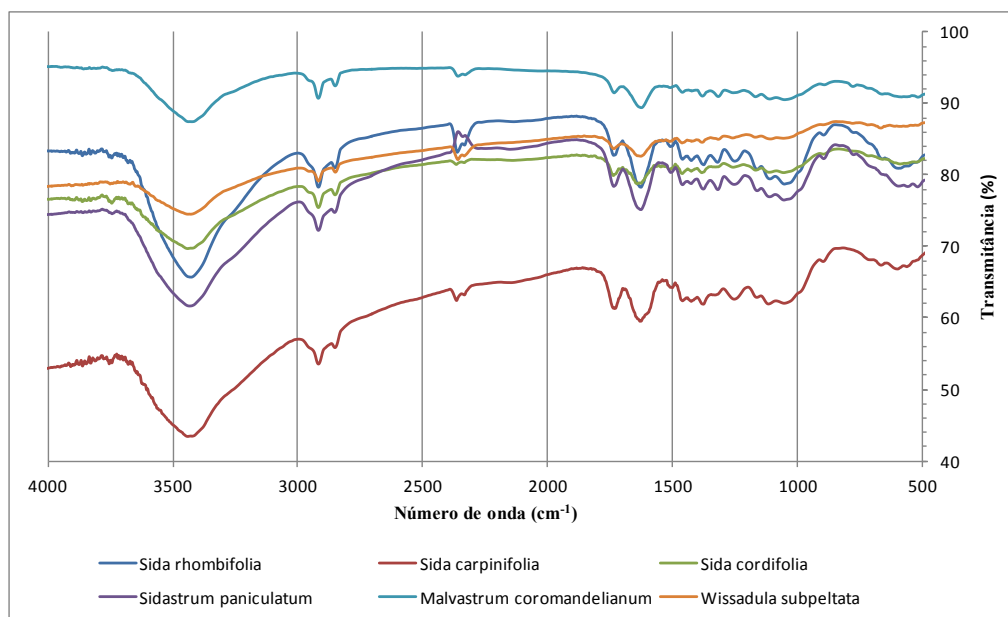


Figura 6.18. Ensaios de FTIR realizados para: *Sida rhombifolia* L.; *Sida carpinifolia* L. f.; *Sida cordifolia* L.; *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell; *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck; *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries. As legendas explicativas para cada curva estão no interior da figura.

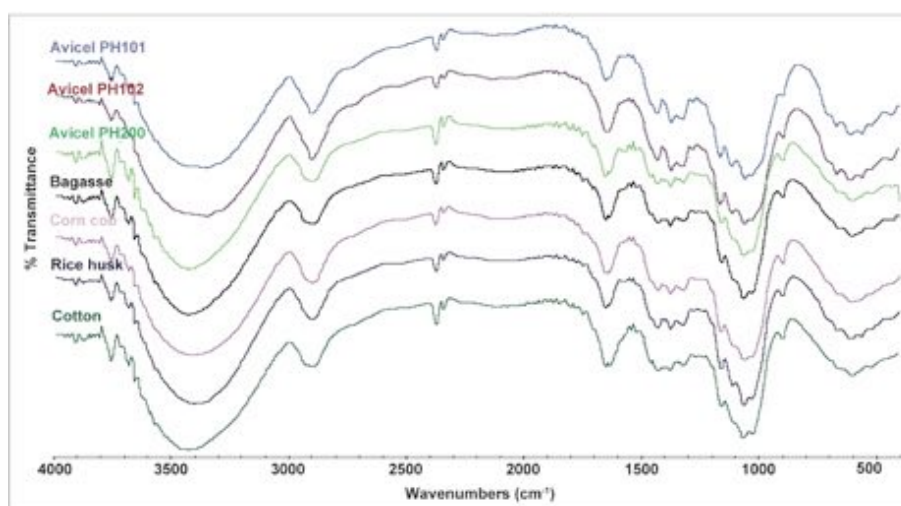


Figura 6.19 FTIR de celulose microcristalina produzida a partir de diferentes fontes: Avicel® (Merck, Darmstadt, Alemanha), bagaço, sabugo de milho, casca de arroz e algodão (ROJAS et al, 2011).

Ao analisar as **Figuras 6.18 e 6.19** entre si pode-se verificar grande semelhança em duas áreas, perto dos 3000 cm^{-1} e próximo aos 3500 cm^{-1} , o que indica presença de CH e OH respectivamente (SARKAR; DIPA RAY, 2000). Estas são as maiores bandas verificadas nos gráficos, o que já era esperado, visto que todos os materiais analisados têm origem vegetal. Ainda é possível comparar as bandas, sobretudo as obtidas em torno dos 1000 cm^{-1} , com os espectros obtidos para as fibras do presente estudo.

De acordo com Houck (2009), as bandas de absorção (em cm^{-1}) características para as fibras de algodão são: 3450–3250; 2900; 1630; 1430; 1370; 1100–970; 550. Para todas as fibras estudadas, verifica-se que os picos são nas mesmas regiões e, em comparação com a fibra de algodão é possível confirmar as semelhanças entre elas, pois todas as regiões dos picos descritos pelo autor podem ser encontrados nos gráficos obtidos para as fibras analisadas. Na **Tabela 6.5** encontram-se as principais bandas de FTIR encontradas em plantas.

Tabela 6.5. Algumas das principais bandas de infravermelho médio encontradas em plantas (STUART, 2004).

Tipo	Número de onda (cm^{-1})
α -D-glucose	915, 840
β -D-glucose	915, 900
β -D-frutose	873, 869
β -D-celulose	916, 908
Celulose	1170-1150, 1050, 1030
Lignina	1590, 1510
Hemicelulose	1732, 1240
Pectina	1680-1600, 1260, 955

Na **Figura 6.20** apresenta-se o gráfico de FTIR para *Sida rhombifolia* L., com as indicações das possíveis bandas, onde pode-se verificar os grupos hidroxila, bem como as bandas que representam a celulose, hemicelulose e lignina, de acordo com dados da **Tabela 6.5**.

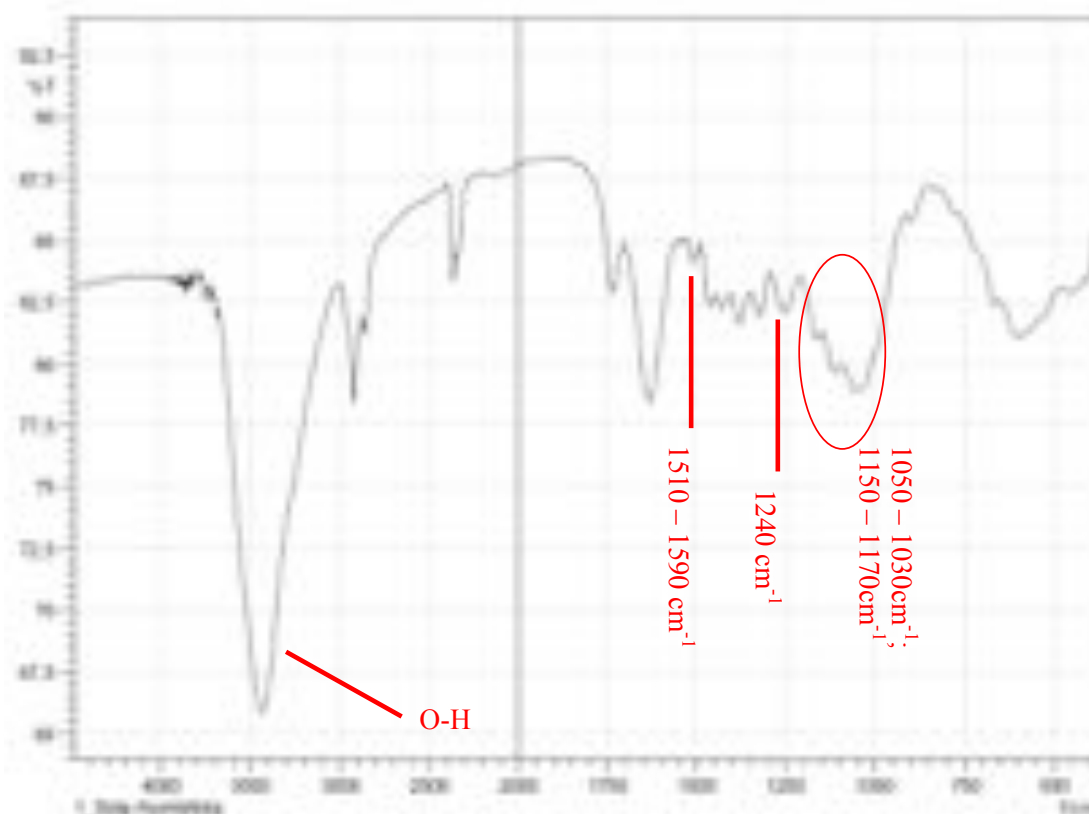


Figura 6.20. Gráfico FTIR obtido para *Sida rhombifolia* L., com as indicações dos principais picos. O primeiro pico, próximo aos 3500cm^{-1} representa os grupos hidroxila, o segundo, terceiro e quarto pico indicados representam lignina, hemicelulose e celulose respectivamente.

Próximo de 1750cm^{-1} há uma área que indica presença de grupo carbonila ($\text{C}=\text{O}$). A deformação angular entre 3339 e 3564cm^{-1} indica presença de grupos hidroxila, os quais, na cadeia de celulose, são capazes de interagir uns com os outros formando ligações hidrogênio de dois tipos: intramoleculares (entre os grupos hidroxila da mesma cadeia), que são responsáveis pela rigidez das cadeias, e intermoleculares (entre os grupos hidroxila de cadeias adjacentes), responsáveis pela formação da estrutura supramolecular (MORGADO, 2009).

Assim, com base nos ensaios realizados e em comparação com a literatura, é possível confirmar a presença de celulose, hemicelulose e lignina.

6.6. Digital Scanning Calorimetry (DSC)

Os primeiros ensaios foram realizados em equipamento *Diferencial Scanning Calorimeter* DSC 7 (Perkin Elmer, EUA), com fibras em condição ambiente e retiradas de estufa a vácuo, temperatura de 40 a 300°C e velocidade de aquecimento de 20°C/min, como os apresentados na **Figura 6.21** e **Anexo IV**.

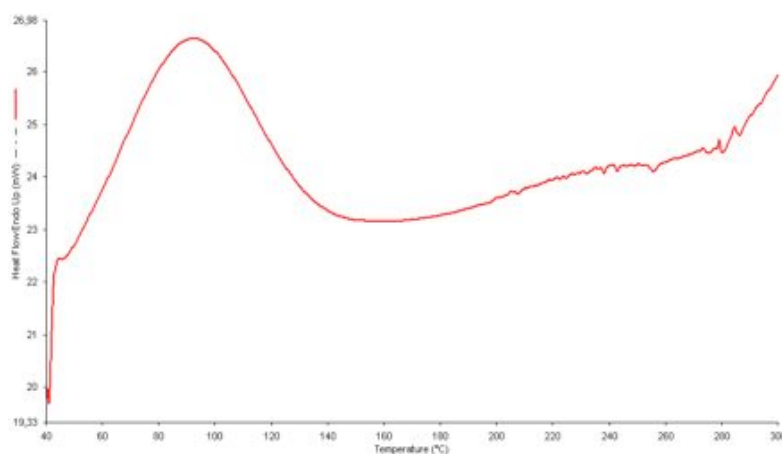


Figura 6.21. Ensaio realizado para *Sida carpinifolia* L. f. (condição ambiente) em *Diferencial Scanning Calorimeter* DSC7 (Perkin Elmer, EUA), 40-300°C, 20°C/min.

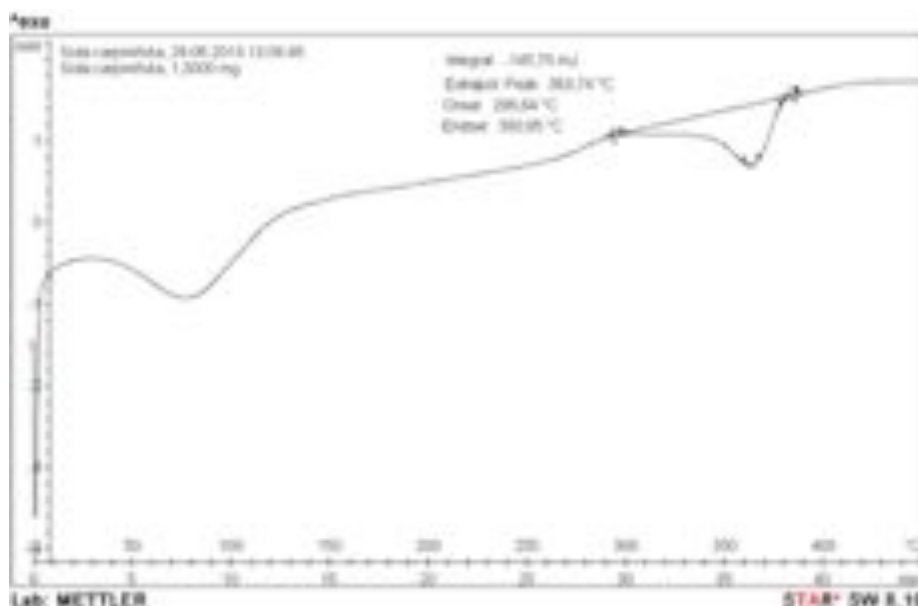


Figura 6.22. Ensaio realizado para *Sida carpinifolia* L. f. (condição ambiente) em *Diferencial Scanning Calorimeter* Mettler Star SW 8.10 (Mettler Toledo, EUA), 0-450°C, 10°C/min.

Estes primeiros ensaios (**Anexo IV**) foram realizados com as amostras em temperatura ambiente e com as amostras retiradas de estufa a vácuo. Através dos resultados desses primeiros ensaios, já se pode verificar o quanto a umidade pode interferir

nas análises. No entanto, por limitação operacional, a temperatura máxima somente atinja 300°C, sendo esta insuficiente para a análise da totalidade de constituintes das fibras estudadas.

Posteriormente, novos ensaios de DSC foram realizados em equipamento Mettler Star SW 8.10 (Mettler Toledo, EUA), com temperatura de ensaio de 0 a 450°C e com velocidade de aquecimento de 10°C/min, como os apresentados nos gráficos da **Figura 6.22** e **Anexo V**.

Cumpre notar que o primeiro pico apresentado na **Figura 6.21** corresponde ao primeiro pico da **Figura 6.22**, os quais estão invertidos um em relação ao outro. Existem duas convenções diferentes: reações exotérmicas na amostra mostrados com um pico positivo ou negativo, dependendo do tipo de tecnologia utilizada na experiência. Deste modo, as convenções são diferentes para o equipamento DSC7 (Perkin Elmer, EUA) em relação ao equipamento Mettler Star SW 8.10 (Mettler Toledo, EUA). Assim, na **Figura 6.21** os picos endotérmicos são os que estão em ascensão, enquanto que na **Figura 6.22** os mesmos picos estão no sentido inverso, porém os resultados apresentados são os mesmos e poderiam ser interpretados da mesma maneira se ambos os equipamentos atingissem a mesma temperatura.

Os gráficos obtidos através do equipamento Mettler Star SW 8.10 (Mettler Toledo, EUA) foram os escolhidos para análise neste estudo por motivo de alcançarem temperatura de até 450°C. Segundo Vrinceanu et al. (2013) as fibras lignocelulósicas degradam em vários passos, a celulose degrada entre 310°C - 360°C, enquanto que a hemicelulose se degrada entre 240°C - 310 °C, e a lignina tem demonstrado que se degrada em amplas temperaturas, entre 200°C - 550°C. Os ensaios de DSC realizados primeiramente em equipamento DSC7 (Perkin-Elmer, EUA) atingiam apenas à temperatura máxima de 300°C, o que impediria analisar a degradação de boa parte dos componentes da amostra.

As informações reportadas por Vrinceanu et al. (2013) sustentam a indicação de Chand e Fahim (2008) de que em 295°C há um pico que corresponde à perda de massa e decomposição de hemicelulose e que o segundo pico, em 380°C é atribuído à decomposição da α -celulose.

Ainda de acordo com Chand e Fahim (2008), a degradação da lignina ocorre entre as temperaturas 60°C e 200°C. Entretanto, de acordo com Pandey, Day e Mathew (1993), esta degradação só ocorre nas temperaturas entre 350°C e 450°C, sendo estes valores mais condicentes com o esperado, ou seja, que a lignina se degrade a temperatura superior à da celulose.

Ao observar os picos nos termogramas (**Anexos IV e V**), verifica-se que em todos eles há presença de pico endotérmico entre 50°C e 100°C, os quais podem ser atribuídos a vaporização de água residual (MORGADO, 2009). Isto é, devido à absorção de calor pela amostra à medida que sofre a transição de fase endotérmica de sólido para líquido. Do mesmo modo, à medida em que a amostra passa por processos exotérmicos (tal como por exemplo a cristalização), menos calor é necessário para aumentar a temperatura da amostra. Ao observar a diferença de fluxo de calor entre a amostra e referência, o DSC mede a quantidade de calor absorvida ou liberada durante tais transições. O princípio fundamental desta técnica é que, quando a amostra sofre uma transformação física tais como as transições de fase, mais (ou menos) calor terá de fluir para ela do que para a amostra de referência para manter à mesma temperatura (FLEMING, 2013).

Ainda referente aos picos nos termogramas obtidos no equipamento Mettler Star SW 8.10 (Mettler Toledo, EUA) (**Anexo V**), foi possível observar que para todas as fibras aqui estudadas, ocorreu um pico endotérmico aproximadamente entre 300 a 400°C, podendo ser atribuído à degradação dos constituintes das fibras, em conformidade com as observações de Vrinceanu et al. (2013) e Chand e Fahim (2008).

6.7. Thermogravimetric Analysis (TGA) e método Klason modificado

Os ensaios de TGA foram realizados em equipamento TGA Q500 (TA Instruments, EUA), com as fibras inicialmente em condição ambiente, com nitrogênio, temperatura de ensaio de 30°C a 800°C e com 30°C/min de velocidade de aquecimento. Foram obtidos gráficos com as curvas de perda de massa versus temperatura, bem como as curvas das suas correspondentes derivadas (*Derivative Thermogravimetry* - DTG) conforme **Figura 5.9** (Materiais e Métodos) e **Anexo VI**.

Para fins comparativos, os ensaios de TGA foram realizados também com fibras de *Cannabis sativa L.*. Apesar dessa espécie vegetal ter seu cultivo proibido no Brasil desde a década de 1970, trata-se de uma fibra celulósica bastante resistente, amplamente empregada para fins têxteis e de produção de compósitos em vários países, sendo que na Europa é utilizada em pesquisas para fins agrícolas e industriais (UNODC, 2009).

Conforme metodologia desenvolvida por Bouchard, Léger e Chornet (1986) para materiais lignocelulósicos, os eventos (picos caracterizados por pontos de inflexão) nas curvas DTG podem ser associados a processos que ocorrem aos distintos constituintes do material analisado. Deste modo, em muitos casos pode se estimar, pela comparação das curvas de DTG e TGA, a composição aproximada do material lignocelulósico analisado.

Nas curvas DTG correspondentes às fibras estudadas, quatro eventos podem ser observados (**Anexo VI** e **Tabela 6.4**). O primeiro evento ocorre entre a temperatura ambiente e 100°C, sendo que esse processo pode ser atribuído à evaporação da água absorvida. O segundo evento pode ser observado entre essa temperatura e aproximadamente 295°C, causado pelo processo de degradação de hemicelulose. O terceiro, até aproximadamente 365°C, causado pela degradação de celulose. O quarto, até aproximadamente até 420°C, correspondente à degradação de lignina.

Observa-se ainda que nos picos nos termogramas obtidos no equipamento DSC Mettler Star SW 8.10 (Mettler Toledo, EUA) (**Anexo V**), foi possível observar que para todas as fibras aqui estudadas, ocorreu um pico endotérmico aproximadamente entre 300 a 400°C, podendo ser atribuído à degradação dos constituintes das fibras (notadamente as que demandaram maior absorção de calor por estarem em proporção majoritária e/ou por apresentarem maiores valores de entalpia associados aos seus processos de degradação, o que poderia corresponder principalmente à celulose e lignina), em conformidade com as observações de Vrinceanu et al. (2013) e Chand e Fahim (2008).

Assim, através das análises conjuntas das curvas de TGA e DTG (**Anexo VI**), foi possível obter os resultados apresentados na **Tabela 6.6**.

Tabela 6.6. Resultados das análises de TGA+DTG / DSC e pelo método de extração de lignina Klason modificado.

Fibra	Teor de umidade DSC/TGA (%)	Temperatura umidade	Hemicelulose DSC/TGA (%)	Temperatura Hemicelulose	α -celulose DSC/TGA (%)	Temperatura α -celulose	Celulose Total (%)	Lignina DSC/TGA (%)	Temperatura lignina	Lignina Klason modificado (%)
<i>Sida rhombifolia</i> L.	5,130	100	14,32	284,82	55,66	365,72	69,98	20,65	425,04	3,56
<i>Sida carpinifolia</i> L. f.	4,004	100	15,29	295,64	60,46	363,74	75,75	10,95	421,00	1,30
<i>Sida cordifolia</i> L.	4,306	100	9,902	306,07	60,63	364,01	70,53	20,44	420,50	2,75
<i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Fryxell	3,744	100	14,55	295,24	59,48	365,02	74,03	15,71	421,00	3,05
<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Gurck	3,460	100	11,64	337,24	57,43	365,85	69,07	26,63	421,00	5,85
<i>Wissadula subpetalta</i> (Kuntze) R.E. Fries	4,357	100	11,57	287,18	56,12	360,45	67,69	16,04	420,00	6,11
<i>Cannabis sativa</i> L.	4,814	100	n.d.	n.d.	65,66	361,82	65,66	17,21	420,84	5,35

Através dos resultados mostrados na **Tabela 6.6** é possível verificar que os valores obtidos são muito semelhantes para as fibras entre si e também em comparação com o cânhamo testado sob as mesmas condições.

Na presente pesquisa, ao comparar com as fibras de reconhecida empregabilidade têxtil, tem-se que as fibras de sisal, coco, algodão e juta apresentam alguns valores semelhantes aos das fibras estudadas, como o sisal e a juta que apresentam valores de hemicelulose de 10,1% e 13,6% respectivamente (LEÃO, 2008). Esses valores são muito próximos daqueles das fibras do presente estudo, sobretudo a *Sida cordifolia* L. (14,32%), *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell (14,55%), *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck (11,64%) e *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries (11,57%).

De acordo com Leão (2008), o algodão apresenta alto teor de celulose (90%); 5,7% de hemicelulose e 0,2-1,0% de lignina. Deste modo, todas as fibras analisadas no presente estudo apresentaram teor de hemicelulose superior ao do algodão. Isso pode ser explicado pelo próprio alto teor de celulose em algodão e, apesar dessa fibra de semente também pertencer a Malvaceae, os teores de hemicelulose normalmente são mais altos em fibras provenientes do caule (RIBEIRO; ANDRADE FILHO, 1987).

Com relação ao método realizado a partir do método Klason modificado para determinação de lignina, verifica-se que os valores obtidos (**Tabela 6.6**) são muito diferentes dos valores obtidos a partir das análises conjuntas das curvas de TGA e DTG, bem como das referências bibliográficas já citadas para as fibras celulósicas de reconhecida empregabilidade. Este resultado pode ser devido ao fato de ter sido utilizado ácido sulfúrico concentrado, conforme descrito por Cardoso (2008), e assim ter degradado as fibras mais do que o necessário para avaliar o teor de lignina. Os valores determinados no presente estudo se aproximam mais daqueles encontrados para teor de cinzas das fibras têxteis de reconhecida empregabilidade (LEÃO, 2008). Outra possibilidade diz respeito a erro no procedimento experimental, notadamente na escolha do material filtrante, o qual poderia ter deixado passar parte do material sólido a ser pesado (método gravimétrico), o qual, por sua vez, seria correspondente ao teor de lignina presente na amostra. Por fim, também se pode cogitar de que o teor de lignina determinado aqui por este método seja somente relativo ao de um tipo molecular específico de lignina, não havendo se degradado assim todos os tipos moleculares de lignina que eventualmente estivessem presentes na fibra.

6.8. Densidade

Os valores de densidade obtidos encontram-se na **Tabela 6.7**.

Tabela 6.7. Densidade das fibras do presente estudo.

Fibra	Densidade (g/cm³)
<i>Sida rhombifolia</i> L.	1,76
<i>Sida carpinifolia</i> L. f.	1,56
<i>Sida cordifolia</i> L.	1,54
<i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Fryxell	1,48
<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Gurck	1,22
<i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R. E. Fries	1,26

As fibras do presente estudo apresentaram valores de densidade semelhantes a algodão, linho, juta e cânhamo, conforme valores da **Tabela 6.8**.

Tabela 6.8. Densidade de fibras de reconhecida empregabilidade têxtil (adaptado de BARUQUE-RAMOS, 2006; KASWELL, 1963).

Fibra	Densidade (g/cm³)
Algodão	1,54 – 1,56
Linho	1,59
Juta	1,48
Cânhamo	1,48

As fibras originadas de *Sida carpinifolia* L., *Sida cordifolia* L. e *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell apresentaram valores de densidade semelhantes aos valores apresentados na **Tabela 6.6**. A fibra de *Sida rhombifolia* L. apresentou densidade superior a todas as outras fibras aqui mencionadas (1,76 g/cm³); ao passo que as de *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck e *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries apresentaram os menores valores de densidade (respectivamente 1,22 e 1,26 g/cm³).

É importante notar que, mesmo com todo o cuidado na realização dos procedimentos laboratoriais, tais variações podem ser devidas parcialmente à limitação da metodologia empregada (na qual se emprega água líquida como fluido de preenchimento do picnômetro). Talvez com emprego de equipamentos mais sofisticados, como por exemplo, picnômetro a gás, os valores seriam estimados com maior precisão e, assim, poderiam-se explicar melhor as eventuais variações encontradas entre os valores de densidade das fibras.

O nível de organização das microfibrilas afeta fortemente as propriedades físicas e químicas das fibras. Desta forma, quanto maior a cristalinidade, maior será a densidade,

rigidez e resistência à tração das fibras, contudo menor a reatividade e a capacidade de absorção de solventes (PERFETO, 2012).

Segundo Pickering (2008), todas as fibras naturais possuem, em geral, uma densidade da parede celular de cerca de $1,5 \text{ g/cm}^3$, sendo que esse mesmo autor afirma que as fibras provenientes do caule são normalmente as mais fortes.

Dessa forma, verifica-se que as características mostradas na **Tabela 6.7** estão em concordância com as informações obtidas através de Pickering (2008), bem como vão ao encontro dos valores de densidade obtidos para as fibras apresentadas, sobretudo para os valores de densidade de *Sida carpinifolia* L., *Sida cordifolia* L. e *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell.

De acordo com Huda et al (2008), uma das características pela qual as fibras naturais tem despertado o interesse para aplicação como reforços em compósitos é a baixa densidade, além de outras características como resistência ao impacto, rigidez, amortecimento de som e textura, juntamente com características *eco-friendly*.

As fibras do presente estudo apresentaram características, em termos de densidade (**Tabelas 6.7 e 6.8**) e também resistência (**Tabelas 6.1 e 6.2**), semelhantes às fibras de usual empregabilidade, o que pode ser um indicativo de que tais fibras poderiam ser também estudadas quanto ao seu emprego como reforços em compósitos.

6.9. Grau de Polimerização médio viscosimétrico das fibras

Para as fibras do presente estudo, os valores do grau de polimerização (GP) e massa molecular médio da celulose são apresentados na **Tabela 6.9**.

Tabela 6.9. Grau de polimerização médio (GP) e massa molecular média da celulose (MM) das fibras estudadas.

<i>Fibra</i>	GP	MM
<i>Sida rhombifolia</i> L.	930	150660
<i>Sida carpinifolia</i> L. f.	1490	241380
<i>Sida cordifolia</i> L.	820	132840
<i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Fryxell	1560	252720
<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Gurck	1200	194400
<i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R. E. Fries	1300	210600

O grau de polimerização (GP) se refere ao número de vezes que a estrutura anelar é repetida e esta estrutura é a que define o polímero. Portanto, quanto maior o GP, maior o peso molecular e conseqüentemente maior a viscosidade (SONESSO, 2011). O grau de

polimerização pode indicar possíveis usos das fibras celulósicas, pois indicam também variabilidade em propriedades físicas e mecânicas. Na **Tabela 6.10** é possível verificar o grau de polimerização médio da celulose em materiais fibrosos.

Tabela 6.10. Grau de polimerização médio da celulose em materiais fibrosos (KLOCK et al, 2005).

Tipo de celulose	Grau de Polimerização (GP)
Celulose nativa	3500 - 12000
Línter de algodão	1000 – 3000
Polpas de madeiras comerciais	600 – 1500
Celulose regenerada	200 - 600

A partir das **Tabelas 6.9 e 6.10**, pode-se verificar que as fibras do presente estudo apresentaram valores de grau de polimerização dentro da faixa de valores do línter de algodão e polpas de madeiras comerciais. A avaliação do grau de polimerização médio das fibras tem significativa importância para a caracterização deste tipo de material, pois indica a dimensão da cadeia de celulose. A fibra de celulose consiste em uma combinação de macromoléculas de vários tamanhos, dessa forma o grau de polimerização da celulose corresponde a um valor médio, e a massa molar média da celulose influi nas propriedades físico-químicas da fibra (MORGADO, 2009).

De acordo a Professora Diana Cayuela Marín (informação pessoal em 2013³), considerando o baixo grau de polimerização encontrado para todas as fibras estudadas, é questionável o seu emprego para fins têxteis convencionais (malharia, tecelagem, etc). No entanto, isso não exclui a possibilidade do emprego destas fibras para outros fins, como por exemplo, produção de papel e outros tipos de têxteis, notadamente têxteis técnicos, como por exemplo reforços (para construção civil ou na indústria automobilística) e/ou produção de compósitos. Ainda de acordo com a Professora Diana (2013), quanto maior o GP, maior a resistência das fibras. Entretanto, ao relacionar os resultados de resistência (tenacidade) da **Tabela 6.1** com a **Tabela 6.9**, de valores de grau de polimerização, encontrou-se que, apesar de haver uma tendência geral corroborando a hipótese da professora, também existe uma incongruência nos dados para embasar essa teoria ao se constatar que a fibra de maior tenacidade (resistência), *Sida cordifolia* L., foi a que apresentou o menor grau de polimerização, ainda que se possa considerar que os valores de GP apresentados na **Tabela 6.9** não difiram tanto entre si, já que se estão dentro da mesma ordem de grandeza ($\sim 10^3$).

³ Cayuela Marín, C. **Grau de polimerização de fibras têxteis vegetais**. Informação pessoal obtida em 27 jun. 2013.

6.10. Combustão

Este ensaio analisa qualitativamente o tipo de combustão (queima, fusão ou retraimento da fibra), tipo da chama (cor e intensidade), cinza (cor) e odor. Com relação ao odor, uma comparação com fibras têxteis é fornecida nas **Tabelas 6.11 e 6. 12.**

Tabela 6.11.Características dos odores de combustão (MALUF; KOLBE, 2003).

Odor	Fibras
Papel queimado	Celulósicas naturais e regeneradas
Pelo queimado	Proteicas
De vinagre	Acetato e triacetato
De parafina	Polietileno e polipropileno
De salsa verde	Poliamidas
De leite queimado	Poliéster
De peixe podre	Acrílica

Tabela 6.12. Teste qualitativo da combustão com avaliação do tipo de combustão (queima ou derretimento), cor e intensidade da chama, cor da cinza e odor.

Espécie	Tipo de Combustão	Cor da Chama	Intensidade da Chama	Cor da Cinza	Odor
<i>Sida rhombifolia</i> L.	queima	laranja	fraca	cinza claro	madeira queimada
<i>Sida carpinifolia</i> L. f.	queima	laranja	média	cinza claro	madeira queimada
<i>Sida cordifolia</i> L.	queima	laranja	intensa	cinza médio	madeira queimada
<i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Fryxell	queima	laranja	intensa	cinza claro	papel queimado
<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Gurck	queima	laranja	intensa	cinza claro	papel queimado
<i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R.E.Fries	queima	laranja	média	cinza claro	papel queimado

Como observado na **Tabela 6.12**, não foram obtidas informações relevantes através deste teste. Não se observou qualquer característica particular destas fibras que permitisse uma identificação com relação a quaisquer outras. Todas as características observadas são comuns a todas as fibras celulósicas. O teste do odor é ainda muito empregado no setor têxtil para identificação de fibras. Novas tecnologias como a do nariz eletrônico poderiam ser utilizadas para tal finalidade, a exemplo do que ocorre no setor de alimentos (GOMEZ et al, 2008; ZHANG; WANG; YE, 2008). Apesar disso, não se tem conhecimento de publicações relatando o emprego de tal tecnologia no setor têxtil.

6.11. Determinação do pH do extrato aquoso

O valor do pH do extrato aquoso de têxteis é um índice importante, devido às exigências quanto à alcalinidade e acidez desse material. Considerando as operações de beneficiamento têxtil (tais como purga, mercerização, tingimento, acabamento, etc), o pH deve estar de acordo com o requerido para o processo em questão (SALEM; DE MARCHI; MENEZES, 2005). No caso de compósitos, tem importância como fator determinante na liga das fibras na matriz polimérica (RIBEIRO; ANDRADE FILHO, 1987; ARAÚJO; CASTRO, 1984). Outro aspecto importante, estudado por Aggarwal e Singh (1990), é o retardamento da pega do cimento, pela presença de substâncias de caráter ácido, liberadas pela fibra vegetal em solução aquosa. Os resultados obtidos de pH do extrato aquoso para o presente estudo são apresentados na **Tabela 6.13** e **Figura 6.23**.

Tabela 6.13. Valores dos resultados dos ensaios de pH do extrato aquoso.

Espécie	pH do extrato aquoso	Varição de massa Solvente (%)	Varição de massa H ₂ SO ₄ 0,01N(%)	Varição de massa H ₂ SO ₄ 0,1N (%)	Varição de massa NaOH 1 N (%)	Varição de massa NaOH 7,5 N (%)
<i>Sida rhombifolia</i> L.	6,44 ⁻	-2,0	45,2	0,0	33,3	0,0
<i>Sida carpinifolia</i> L. f.	6,17 ^A	0,9	6,7	3,1	-15,1	-18,5
<i>Sida cordifolia</i> L.	6,39 ⁻	0,0	40,6	3,1	-6,5	-10,5
<i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Fryxell	6,75 ^B	-0,6	23,9	7,5	-14,0	-10,8
<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Gurck	6,38 ⁻	0,0	-1,4	2,7	-2,5	-22,6
<i>Wissadula subpeltata</i> (Kuntze) R. E. Fries	6,45 ⁻	1,7	-1,8	4,2	-7,5	-2,7

^A Acidificação (rosa); ^B ligeira alcalinização (azul); ⁻ não alterou significativamente o pH da solução salina.

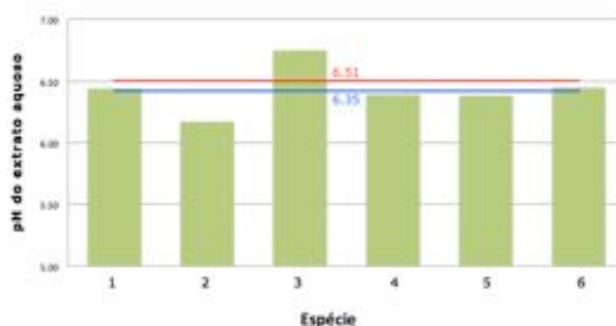


Figura 6.23. Valores do pH do extrato aquoso para as espécies do presente estudo: 1- *Sida rhombifolia* L. 2 - *Sida carpinifolia* L. f. 3 - *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell. 4 – *Sida cordifolia* L.. 5 – *Malvastrum coromandelium* (L.) Gurck. 6 - *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries. A linha azul indica o pH da solução salina antes do início do ensaio e a vermelha após o processo de fervura, ao final do ensaio.

Observa-se na **Tabela 6.13** e **Figura 6.23** que somente uma espécie (*Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell) apresentou pH de extrato aquoso ligeiramente mais básico que o

da solução salina original. Também outra espécie, *Sida carpinifolia* L. f., apresentou pH de extrato aquoso ligeiramente mais ácido que o da solução salina original. Nota-se que em ambos os casos, as variações foram pequenas e podem ser devidas a restos de pectina e outros resíduos ainda presentes nas fibras de quando da realização deste teste.

Para todas as outras espécies (**Tabela 6.13**) não houve alteração significativa do pH original da solução salina.

6.12. Efeito dos solventes orgânicos

Os resultados dos tratamentos das espécies com Varsol (Exxon, Brasil) por 24 horas a temperatura ambiente estão expressos na **Tabela 6.24**. Observa-se que não houve variação significativa na massa ou aparência das amostras antes e depois do tratamento (**Figura 6.24** e **Anexo VIII**).

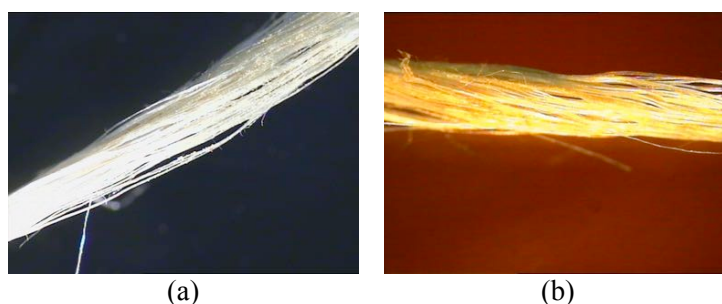


Figura 6.24. *Sida rhombifolia* L. (a) antes e (b) depois do teste com Varsol (Exxon, Brasil) (32X).

A introdução da lavagem a seco tornou importante a resistência das fibras aos solventes orgânicos. Solventes como o tetracloreto de carbono e o tricloroetileno são frequentemente usados para limpeza dos tecidos e os efeitos destes sobre a fibra são obviamente importantes (RIBEIRO; ANDRADE FILHO, 1987; ARAUJO; CASTRO, 1984). Entretanto, para as espécies que não tiveram variação significativa de massa, um potencial mais significativo do que o de poderem ser sujeitas à processos de lavagem a seco, é aquele que sugere a possibilidade de seu emprego em compósitos com matrizes plásticas termofixas (resinas epóxi, poliéster, fenólica, etc). Nestas matrizes, a polimerização ocorre através da eliminação do solvente (WIEBECK; HARADA, 2005). Assim é de interesse que as fibras de reforço não sejam afetadas pelo solvente durante o processo de fabricação do compósito. Logicamente, a estabilidade e as propriedades finais do compósito dependem de estudos mais aprofundados da relação das fibras com a matriz polimérica.

6.13. Efeito dos ácidos

Amostras foram submetidas a tratamento por 60 minutos a temperatura ambiente em duas concentrações distintas de ácido sulfúrico (0,01 N e 0,1 N). Nas espécies estudadas não foram observados danos ou degradação visível das fibras após o tratamento com o ácido (**Figura 6.25** e **Anexos IX e X**). Os possíveis efeitos foram analisados através de microscopia longitudinal das fibras com aumento de 32 vezes.

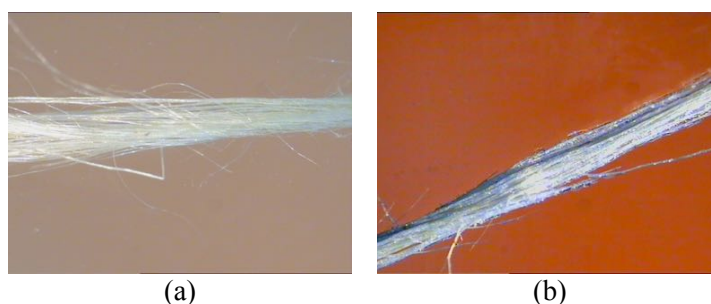


Figura 6.25. *Sida rhombifolia* L. (a) antes e (b) depois do teste com H_2SO_4 0,01N (32X).

As fibras têxteis estão comumente sujeitas à soluções ácidas. Dependendo da concentração, temperatura, tempo, etc, o comportamento das diferentes fibras varia. Geralmente, as fibras celulósicas não resistem aos ácidos, especialmente os de origem mineral, como é o caso do ácido sulfúrico (RIBEIRO; ANDRADE FILHO, 1987; ARAUJO; CASTRO, 1984).

Por outro lado, por serem considerados fontes renováveis de etanol e outros produtos utilizados em diversas indústrias farmacêuticas e químicas, os materiais lignocelulósicos têm sido objeto de vários estudos nos últimos anos. Atualmente o interesse nesse tipo de material deve-se ao aumento da demanda de energia. Várias pesquisas que já foram realizadas nas últimas duas décadas visando converter o material lignocelulósico em etanol, sendo necessária a hidrólise ácida ou enzimática desse material em açúcares redutores e a fermentação subsequente desses açúcares. O fundamento da hidrólise ácida é o de realizar a quebra das moléculas de celulose por meio da adição de ácido aos resíduos (PIETROBON, 2008).

Pelos dados da **Tabela 6.13**, observa-se que houve uma tendência nos resultados de ambos os tratamentos ácidos na qual as amostras mantiveram ou ganharam massa após esses tratamentos. É possível cogitar que a ação ácida, ao eliminar componentes não-celulósicos (lignina e hemicelulose), tenha exposto mais as estruturas de celulose de tais fibras, as quais são mais hidrofílicas. Ainda, os tratamentos ácidos agindo sobre as estruturas físicas e químicas das fibras, notadamente no que diz respeito a regiões amorfas

e cristalinas da celulose, podem ter provocado um aumento de regiões amorfas levando a um aumento de hidrofiliabilidade das fibras, uma vez que a pesagem antes e depois do tratamento se deu em amostras climatizadas a 20°C e 65% de umidade relativa.

6.14. Efeito dos álcalis

De uma maneira geral e levando-se em conta a concentração, as fibras celulósicas resistem melhor aos álcalis, do que aos ácidos (RIBEIRO; ANDRADE FILHO, 1987; ARAUJO; CASTRO, 1984).

No presente estudo amostras foram submetidas a duas concentrações distintas de hidróxido de sódio ou soda cáustica (1 e 7,5 N) a temperatura ambiente, respectivamente por 60 e 20 minutos. Os resultados dos tratamentos, expressos em termos de variação de massa das espécies, estão expressos na **Tabela 6.13** Nas espécies estudadas não foram observados danos ou degradação visível das fibras após o tratamento com o álcali (**Figura 6.26** e **Anexos XI e XII**). Os possíveis efeitos foram analisados através de microscopia longitudinal das fibras com aumento de 32 vezes.

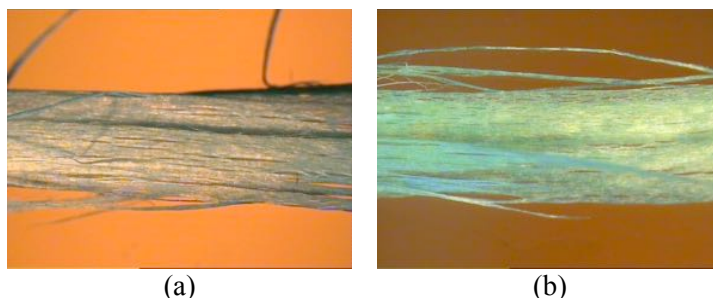


Figura 6.26. *Sida cordifolia* L. (a) antes e (b) depois do tratamento com NaOH 1N (32X).

O pré-tratamento alcalino de fibras tem por objetivo aumentar a área de superfície da biomassa e reduzir a cristalinidade da celulose. Enquanto o tratamento ácido promove a hidrólise da camada de hemicelulose, o tratamento alcalino promove a remoção de parte da camada de lignina deixando a hemicelulose intacta, a qual necessita de enzimas hemicelulolíticas para serem degradadas. Por promoverem uma intensa deslignificação da biomassa, os álcalis são utilizados no tratamento de matérias com reduzido teor de lignina como, por exemplo, resíduos agroindustriais (PIETROBON, 2008; BAUDEL, 2006).

Reddy e Yang (2005) reportam que as melhores condições de obtenção de fibras com potencial têxtil a partir de palha de milho foram através de um pré-tratamento alcalino anterior à maceração enzimática. As enzimas por si só foram incapazes de quebrar a

camada exterior de material de proteção na palha de milho. A variação da concentração de enzimas, pH, tempo e temperatura de tratamento, resultou na remoção das partes fracas da fibra que se conectam as outras mais fortes e longas na palha de milho. Entretanto, essas fibras mais grossas mantinham a cobertura exterior, mesmo após o tratamento enzimático. Assim, um tratamento alcalino suave (hidróxido de sódio 0,5 N, 60 minutos, 95°C, 5% em peso de palha de milho com relação ao volume de solução) foi necessário para remover as substâncias de superfície e permitir que as enzimas atuassem na remoção de parte da lignina e celulose.

Nota-se que no presente estudo utilizaram-se as concentrações de hidróxido de sódio 1 e 7,5 N, porém em condições de temperatura e pressão ambiente.

Pelos dados apresentados na **Tabela 6.13**, houve uma tendência nos resultados de ambos os tratamentos alcalinos na qual as amostras perderam massa após esses tratamentos. Deste modo, é possível cogitar que a ação alcalina tenha provocado uma deslignificação mais intensa do que os tratamentos ácidos e promovido assim a perda de massa das amostras submetidas ao contato com a soda cáustica.

Por outro lado, o tratamento com NaOH 1N proporcionou às fibras liberianas (entre o córtex e o xilema) estudadas um efeito benéfico promovendo o aumento suas dimensões transversais (inchamento), maior brilho e maciez de suas superfícies (percebidos de modo visual e tátil) (**Anexo XI**).

6.15. Propostas de usos e processos para aplicação das fibras em diversas áreas produtivas

Em base de todas as informações já relatadas no presente estudo, realizam-se a seguir algumas propostas com relação ao emprego das fibras estudadas em diversas áreas produtivas.

A comparação dos valores das **Tabelas 6.1** e **6.2** sugere que as fibras estudadas poderiam ter empregabilidade têxtil similar às espécies de fibras naturais descritas na **Tabela 6.2**. Ou seja, considerando sua proveniência de caules, possuem potencial para serem empregadas de modo similar ao linho e juta. Entretanto, os valores de tenacidade obtidos para as fibras do presente estudo estão abaixo dos de cânhamo, rami e sisal e dos valores de fibras sintéticas elencados na **Tabela 6.2**. Cumpre notar que Medina (1959) afirmava que as fibras liberianas das *Sida* sp. seriam legítimas sucedâneas da juta por serem similares em composição e qualidade, porém consideradas mais macias. Por

constatação visual e táctil realizado no presente estudo, o mesmo se poderia dizer das espécies da família Malvaceae aqui estudadas. Desse modo, considerando também os valores de módulo de Young não muito altos para essas espécies (indicando características de maleabilidade e alongamento) se pode cogitar a possibilidade de fiação e fabricação de tecidos para vestuário, moda lar e artigos de decoração. No entanto, considerando o baixo grau de polimerização encontrado para todas as fibras estudadas (**Tabela 6.9**), é questionável o seu emprego para fins têxteis convencionais (malharia, tecelagem, etc). No entanto, isso não exclui a possibilidade do emprego destas fibras para outros fins, como por exemplo, produção de papel e outros tipos de têxteis, notadamente têxteis técnicos, como, por exemplo, reforços (para construção civil ou na indústria automobilística) e/ou produção de compósitos. Entretanto, para a fabricação de têxteis técnicos, estudos complementares necessitariam ser realizados dependendo do uso final, já que essas fibras não possuem valores elevados de tenacidade.

Analizando os resultados dos testes realizados com o solvente orgânico Varsol (Exxon, Brasil), a totalidade das fibras estudadas não sofreu alteração de massa devido ao tratamento. Deste modo, é aventada a possibilidade de seu emprego em compósitos com matrizes plásticas termofixas (resinas epóxi, poliéster, fenólica, etc). Nestas matrizes, a polimerização ocorre através da eliminação do solvente (WIEBECK; HARADA, 2005). Assim é de interesse que as fibras de reforço não sejam afetadas pelo solvente durante o processo de fabricação do compósito. Logicamente, a estabilidade e as propriedades finais do compósito dependem de estudos mais aprofundados da relação das fibras com a matriz polimérica. Para tanto há necessidade de estudos detalhados da interação fibra-matriz e sobre o compósito resultante devem ser feitos os testes físicos e químicos pertinentes a sua aplicação final.

Por outro lado, o emprego das fibras em compósitos com matrizes termoplásticas é restringido em virtude das baixas temperaturas de degradação (obtidas através dos testes de DSC e TGA) dos constituintes das fibras estudadas conforme apresentado na **Tabela 6.6**. Por outro lado, tendo em conta o ponto de fusão (165°C) e temperatura de processo de extrusão (250°C) do polipropileno (MANRICH, 2005), é plausível a hipótese de produção de compósitos com este matriz e o presente estudo como fibras de reforço. Desta forma, mesmo considerando os resultados de tração inferiores, mas também a semelhança entre os padrões de DSC de fibras Malvaceae estudadas e cânhamo (**Anexo V**), essas matérias-primas naturais poderia oferecer possibilidades de desenvolvimento de novos produtos e processos na produção de composto de resistência média. Ainda, os seguintes

termoplásticos poderiam ser processáveis a temperaturas compatíveis com os limites impostos pelo reforço lignocelulósico: poli (cloreto de vinila) (PVC), o polietileno (PE), o polipropileno (PP) e o poliestireno (PS) (MACHADO et al, 2010). Segundo Huda et al (2008), o interesse em compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais está crescendo rapidamente. Além disso, as fibras naturais são importantes recursos renováveis em muitos países, e compósitos poliméricos baseados em fibra natural formam uma nova classe de materiais que têm um bom potencial, o que sugere uma possível solução para algumas questões ambientais, como a redução de resíduos sintéticos e agrícolas.

Observa-se que para todas as espécies estudadas (**Tabela 6.13**) não houve alteração significativa do pH original da solução salina, sendo também essa uma característica favorável na produção de compósitos termofixos ou termoplásticos (WIEBECK; HARADA, 2005; MANRICH, 2005).

Relativo aos processos de beneficiamento aplicados sobre as fibras do presente estudo, o tratamento com NaOH 1N proporcionou às fibras estudadas um efeito benéfico promovendo o aumento suas dimensões transversais, maior brilho e maciez de suas superfícies (percebidos de modo visual e tátil). O tratamento também promoveu um branqueamento devido à remoção de parte da lignina, componente esse responsável pela cor amarelada (**Figura 6.26 e Anexo XI**).

Nota-se que apesar de não haver se encontrado em literatura, aplicações técnicas para as fibras pesquisadas no presente estudo, os resultados apresentados nesta dissertação podem ser úteis para estudos e/ou aplicações em diversas áreas, tais como têxteis técnicos, produção de papel, produção de biomassa, produção de biocombustível, etc.

É plausível cogitar que, em futuro próximo, a baixa produtividade das espécies de Malvaceae aqui estudadas com relação à juta, como apontado por Medina (1959), possa ser significativamente melhorada por técnicas de engenharia genética e agronomia.

Por fim, cabe apontar o emprego promissor de materiais contendo lignina na produção de precursores químicos na produção de fibra de carbono (KADLA et al, 2000; SUDO et al, 1993).

7. Conclusões

Das seis espécies de Malvaceae estudadas, foram realizados: testes físicos tênses (resistência e alongamento); microscopia óptica (sem e com solução de iodo); teores de *regain* e umidade; testes químicos de combustão, determinação do pH do extrato aquoso, efeitos dos solventes orgânicos, álcalis e ácidos. Em adição, foram feitos testes de DSC, TGA, SEM, FTIR, microscopia de luz polarizada, grau de polimerização e densidade.

As principais conclusões se referem à:

- Geração inédita de conhecimento referente à caracterização física e química das seis espécies estudadas da família Malvaceae;
- Para as seis fibras estudadas, os valores de tenacidade (21-33 cN/tex), alongamento (2-3%) e módulo de Young (10-20 N/tex) são compatíveis com as de fibras naturais de reconhecida empregabilidade têxtil. Como exceção, somente a tenacidade de *Sida rhombifolia* L. (12 cN/tex) está muito abaixo dos valores de fibras naturais de reconhecida empregabilidade têxtil (20-70 cN/tex);
- Os valores de obtidos de *regain* (10-18%) para as espécies estudadas são compatíveis com os de outras fibras celulósicas de reconhecida empregabilidade têxtil;
- As microscopias ópticas e SEM mostram semelhanças de estruturas celulares entre as espécies estudadas e outras fibras celulósicas. Também para as espécies estudadas foram visualizadas ranhuras (indicativo de coesividade), ausência de fibrilas e porosidade (indicativo de absorção de umidade e facilidade de tingimento). O diâmetro celular para as espécies estudadas, compatível com o de outras espécies celulósicas, foi de 12-18 μm . Os padrões de microscopia de luz polarizada foram muito semelhantes para as 06 espécies estudadas e mais semelhantes ao padrão do linho;
- Os testes de FTIR confirmaram presença de celulose, hemicelulose e lignina nas 06 fibras estudadas;
- Os testes de DSC e TGA indicaram as temperaturas de picos endotérmicos e composição de hemicelulose (285-337°C; 10-15%), α -celulose (360-365°C; 55-60%) e lignina (420-425°C, 11-27%), valores esses coerentes com os reportados em literatura para outras fibras lignino-celulósicas. Em função dessas temperaturas, a

possibilidade de emprego das fibras estudadas em compósitos termoplásticos é bastante restrita;

- As densidades variaram de 1,2-1,8 g/cm³ e os graus de polimerização de 0,9-1,6.10³, sendo que tais valores de grau de polimerização faz com que seja questionável o emprego das fibras estudadas para fins têxteis convencionais (malharia, tecelagem, etc), mas não inviabiliza o emprego destas em produção de papel, têxteis técnicos e compósitos;
- As características de combustão para as fibras estudadas são semelhantes aos de outras fibras celulósicas;
- Não houve alteração significativa do pH do extrato aquoso para as seis fibras estudadas;
- Com base em suas propriedades químicas, ou seja, de não alterarem a massa após tratamento de solvente orgânico, as fibras do presente estudo possuem potencialidade de emprego em compósitos plásticos termorrígidos;
- O tratamento com álcali pode proporcionar às fibras liberianas aqui estudadas maior brilho, maciez e brancura, aumentando assim seu potencial de empregabilidade têxtil.

Nota-se que, apesar de não haver se encontrado em literatura aplicações técnicas para as fibras estudadas no presente estudo, os resultados apresentados nesta dissertação podem ser úteis para estudos e/ou aplicações em diversas áreas, tais como têxteis técnicos, produção de papel, produção de biomassa, produção de biocombustível, etc. Por fim, cabe apontar o emprego promissor de materiais contendo lignina na produção de precursores químicos na produção de fibra de carbono.

Essas possibilidades sugerem também pesquisas futuras, no sentido de avaliar essas fibras quando aplicadas nos mais diversos tipos de materiais, bem como incentivo ao estudo e caracterização de outras espécies vegetais brasileiras.

8. Referências

ABIT. Associação Brasileira da Indústria Têxtil. **Perfil do setor. Dados gerais do setor atualizados em 2012, referentes ao ano de 2011.** Disponível em: www.abit.org.br/site/. Acesso em: Out/2012.

AGGARWAL, L.K., SINGH, J. Effect of plant fibre extratives on properties of cement, Kidlington, **Cement & Concrete Composites**, v.12, p. 103-108, 1990.

ALBERT, L.H.B.; VICTORIA FILHO, R. **Micromorfologia Foliar de Espécies de *Sida spp.* (guanxumas).** Planta daninha, vol. 20, n. 3, p. 337-342, 2002.

ALDABA, M. ANTÓ, J. CAYUELA, D. MORALES. **Medida de la Birrefringencia Óptica en las fibras textiles.** Parte 1. Demostración teórica. Trabajo de divulgación. Boletín INTEXTER (U.P.C.) N°. 130. 2006.

ALMACO. Associação Latino-Americana de Materiais compósitos. **Compósitos – Conhecendo o compósito.** Disponível em: <http://www.almaco.org.br>. Acesso em: jan/2013.

ALPINE MEADOWS GUILD. **Fiber Microscopy - Linen.** Disponível em http://www.alpinemeadowsguild.org/fiber_microscopy.html. Acesso em: 11 jan/ 2014.

ALVES, I. M.; DANTAS, I. C.; MELO, J. I. M.; FELISMINO, D. C. **A família Malvaceae sensu lato em uma área do agreste paraibano, nordeste do Brasil.** Universidade Estadual da Paraíba. 2011.

ARAÚJO, M.; MELO E CASTRO, E.M. **Manual de Engenharia Têxtil.** v. 1 e v. 2. Fundação Calouste Gulbekian, Lisboa (Portugal), 1984. 1648 p.

AGGARWAL, L.K., SINGH, J. Effect of plant fibre extratives on properties of cement, Kidlington, **Cement & Concrete Composites**, v.12, p. 103-108, 1990.

BANCO DE DADOS CPMA. **Coleção de Plantas Medicinais e Aromáticas - CPQBA-UNICAMP.** Disponível em: http://webdrm.cpqba.unicamp.br/cpma/banco_de_dados/index.php?centro=select&N_ENTRADA=775. Acesso em: Nov/2012.

BAPTISTA, A. C.; BORGES, J. P.; FERREIRA, I. Produção de Biobaterias a partir de Membranas obtidas pela Técnica de Electrofiação. **Ciência & Tecnologia dos Materiais.** ISSN 0870-83122010, vol.22, n.1-2. pp. 2-13.

BARRON, A. **Physical Methods in Chemistry and Nano Science.** Disponível em: <http://cnx.org/content/col10699/1.18/>. Acesso em: Jan/ 2014.

BARUQUE-RAMOS, J., HISS, H., CONVERTI, A., GONCALVES, V. M., RAW, I. Accumulation of Organic Acids in Cultivations of *Neisseria meningitidis* C. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 33, p.869 - 877, 2006.

BASTIAN, E. Y. O. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil.** 85 p. (Série P + L, ISSN 1982-6648) CETESB: SINDITÊXTIL. São Paulo, 2009.

BAUDEL, H. M. **Workshop produção de etanol: pré-tratamento e hidrólise**. Projeto programa de pesquisas em políticas públicas. UNICAMP, 2006. Disponível em <http://www.inovacao.unicamp.br/etanol/report/Hidrolise%20Baudel%20Apresenta%E7%E3o.pdf>. Acesso em: 20 set. 2013.

BAYER - FIBRAS 100%. Qualidade final: Algodão. **Revista Bayer CropScience**, v. Jun/05, p. 3-4, 2005.

BENINI, K. C. C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS/fibras da casca de coco verde e bagaço de cana de açúcar**. 2011. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

BIANCO, S.; CARVALHO, L.B.; BIANCO, M.S. Estimativa da área foliar de *Sida cordifolia* e *Sida rhombifolia* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta daninha**, v.26, n.4, Viçosa, 2008.

BIBLIOTECA DIGITAL DE LA MEDICINA TRADICIONAL MEXICANA. **Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana**. Disponível em: <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx>. Acesso em: dez/ 2012.

BOLTON, J. **Plant fibres in composite materials: a review of technical challenges and opportunities**. 1997. University of British Columbia. Disponível em: <http://www.forestry.ubc.ca/burgess/bolton.html>. Acesso em: Out/2012.

BOVINI, M.G.; CARVALHO-OKANO, R.M.; VIEIRA, M.F. Malvaceae A. Juss. no Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, Viçosa, v. 52, n. 81, p. 17-47. 2010.

BOUCHARD, J.; LÉGER, S.; CHORNET E. Quantification of residual polymeric families present in thermo-mechanical and chemically pretreated lignocellulosics via thermal analysis. **Biomass**, v. 9, n. 3, p. 161–171, 1986.

BRAZILIAN FIBRES. **Fibras naturais brasileiras ganham novos mercados**. Disponível em: <http://www.brazilianfibres.com.br/?p=598>. Acesso em: dez/2012.

BRITO, G. F.; AGRAWAL, E. M.; ARAÚJO, T. A. J. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Campina Grande. REMAP - **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.6.2 (2011) 127-139. ISSN 1809 - 8797. Disponível em: www.dema.ufcg.edu.br/revista. Acesso em: dez/2012.

BUCKERIDGE, M. S. DOS SANTOS, W. D. & SOUZA, A. P. **As rotas para o Etanol Celulósico no Brasil**. 2010. Disponível em: <http://www.apta.sp.gov.br/cana/coletanea>. Acesso em: dez/2012.

CANEVAROLO JR, S. V. **Ciência dos Polímeros – Um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2ª Edição. **Artliber Ed.** 2006. 277p.

CARDOSO, S. G. **Estudo das propriedades mecânicas e dos mecanismos de fratura de fibras sintéticas do tipo náilon e poliéster em tecidos de engenharia.** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia associada à Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

CARDOSO, V. M. **Aplicação da radiação de feixe de elétrons como pré-tratamento do bagaço da cana-de-açúcar para hidrólise enzimática da celulose.** Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN. Autarquia Associada à Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008. 69p.

CASTRO, N. M. **Parede celular.** Curso de morfologia vegetal. Instituto de Biologia – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG, 2007. Disponível em: <http://www.anatomiavegetal.ib.ufu.br/paredeCelular/>. Acesso em dez/2012.

CAVACO-PAULO, A. **Influência da agitação mecânica e da composição enzimática no tratamento do algodão com celulases.** Tese de doutorado. Escola de engenharia, Universidade do Minho, 1995.

CAVALCANTE, J. M. S.; NOGUEIRA, T. B. S. S.; TOMAZ, A. C. A.; SILVA, D. A.; AGRA, M. F.; SOUZA, M. F. V. S. Steroidal and phenolic compounds from *Sidastrum paniculatum* (L.) fryxell and evaluation of cytotoxic and anti-inflammatory activities. **Química Nova**, Vol. 33, No. 4, 846-849, 2010.

CAYUELA MARÍN, D. **FTIR del algodón blanqueado.** Demostración. INTEXTER (U.P.C.). 2013.

CENTRO NACIONAL DE VERIFICACIÓN DE MAQUINARIA. **Determinación cualitativa (identificación) de fibras de amianto en materiales — método de polarización - dispersión/microscopía óptica.** Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid, 2009.

CHAND, N. FAHIM, M. Tribology of natural fiber polymer composites. Woodhead Publishing Limited and Maney Publishing Limited on behalf of The Institute of Materials, Minerals & Mining. **Woodhead Publishing Limited.** ISBN 978-1-84569-393-0. Cambridge. England, 2008. 205p.

CHANDRAMOHAN, D.; MARIMUTHU, K. A Review on Natural Fibers. **IJRRAS - International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences.** Vol. 8. Issue 2. P. 194 – 206, 2011.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Têxtil e Confecção: inovar, Desenvolver e Sustentar.** Cadernos setoriais Rio+20. 72p. Brasília, 2012.

COIMBRA; D. B.; OLIVEIRA, F. C. Motivação e condicionantes para a gestão ambiental nas maiores indústrias exportadoras do estado do Ceará. **Cadernos Ebape.br.** EBAPE - FGV – Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas da Fundação Getúlio Vargas. Edição Temática 2005. Disponível em: www.ebape.fgv.br/cadernosebape. Acesso em: dez/2005.

COLODEL E.M.; DRIEMEIER D.; LORETTI A.P.; GIMENO E.J.; TRAVERSO S.D.; SEITZ A.L.; ZLOTOWSKI P. Aspectos clínicos e patológicos da intoxicação por *Sida carpinifolia* (Malvaceae) em caprinos no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 51-57, 2002.

CONTROLE DE QUALIDADE TÊXTIL II – **Protocolos dos Testes Físicos**. Apostila do Curso de Química – Ramo de Controle de Qualidade dos Materiais Têxteis da Universidade do Minho (Portugal), 2001. 32 p.

CONTROLE DE QUALIDADE TÊXTIL II – **Testes Químicos**. **Apostila do Curso de Química** – Ramo de Controle de Qualidade dos Materiais Têxteis da Universidade do Minho (Portugal), 2001. 19 p.

CORRADINI, E; AGNELLI, J. A. M.; MORAIS, L. C.; MATTOSO, L. H. C. Estudo das Propriedades de Compósitos Biodegradáveis de Amido/Glúten de Milho/Glicerol Reforçados com Fibras de Sisal. In: **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 18, nº 4, p. 353-358, 2008.

CORRÊA, M. P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro, Imprensa Nacional, 1926-1978. 6 v. ilustr. Reedição de 1984 pelo Ministério da Agricultura – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. 4329 p.

CORREIA, E. A. S. **Compósitos de Matriz Geopolimérica Reforçados com Fibras Vegetais de Abacaxi e de Sisal**. 96p. Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal de Paraíba para obtenção do grau de Doutor. João Pessoa – Paraíba, 2011.

COTTON FIBER GENOMICS PROJECT. **Functional and Sequence Analysis of Fiber Development in Tetraploid Cotton**. University of Texas at Austin. Disponível em: <http://cottongenomics.biosci.utexas.edu>. Acesso em: dez/2012.

CUNHA, F. RELVAS, C. **Análise e Caracterização de Fibras Naturais. Análise Termogravítica. Análise SEM**. Documento FMRG – Fibrous Materials Research Group. Guimarães, 2011. 19p.

DAVIDSON, M. W. **Polarized Light Microscopy**. Florida State University in collaboration with Optical Microscopy at the National High Magnetic Field Laboratory. Florida, 2004. Disponível em: <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/virtual/virtualpolarized.html>. Acesso em: dez/2013.

DAVIDSON, M. W. **Polarized Light Microscopy**. Florida State University in collaboration with Optical Microscopy at the National High Magnetic Field Laboratory. Florida, 2009. Disponível em: <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/techniques/polarized/polarizedhome.html>. Acesso em: dez/2013.

DAVIDSON, M. W. **Polarized Light Microscopy Digital Image Gallery - Hemp Fibers**. Florida State University in collaboration with Optical Microscopy at the National High Magnetic Field Laboratory. Florida, 2006. Disponível em: <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/techniques/polarized/gallery/pages/hempsmall.html>. Acesso em: dez/2013.

DAVIDSON, M. W. **Polarized Light Microscopy Digital Image Gallery - Kenaf Bast Fiber**. Florida State University in collaboration with Optical Microscopy at the National High Magnetic Field Laboratory. Florida, 2003. Disponível em: <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/techniques/polarized/gallery/pages/kenafbast1large.htm>. Acesso em: dez/2013.

DEGEO, **Espectrometria de energia dispersiva de raios-X – EDS**. Disponível em: <http://www.degeo.ufop.br/laboratorios/microlab/mev.htm>. Acesso em: Dez/2012.

DI STASI, L.C.; HIRUMA-LIMA, C.A. **Plantas Medicinais na Amazônia e na Mata Atlântica**. Editora UNESP. 2a ed. São Paulo, 2002. 604 p.

DINIZ FILHO, A. **Setor Têxtil e de Confecção. Balanço 2011 e Perspectivas 2012**. Apresentação ABIT, 2012. Disponível em: www.abit.org.br/site/apresentacoes. Acesso em: dez/2012.

ESPIG, S. A.; FREIRE, F. J.; MARANGON, L. C.; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, M. B. G. S.; ESPIG, D. B. Sazonalidade, composição e aporte de nutrientes da serrapilheira em fragmento de Mata Atlântica. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.5, p.949-956, 2009.

FÁVARO, S. L. **Preparação e caracterização química, morfológica e de propriedades mecânicas de compósitos polietileno pós-consumo com fibras de sisal e com cascas de arroz**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química. Departamento de Química do Centro de Ciências Exatas - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2007. 69p.

FIBRENAMICS, O NOVO MUNDO DOS MATERIAIS À BASE DE FIBRAS. **Fibras naturais**. Disponível em: <http://www.fibrenamics.com>. Acesso em: jan/2013.

FINKLER, M. SCAPINI, P. FREIRE, E. ZATTERA, A. J. ZENI, M. Compósitos de HDPE com Resíduos de Fibras Têxteis. Parte I: Caracterização Mecânica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 15, n° 3, p. 171-175, 2005.

FLEMING – POLYMER TESTING & CONSULTANEY. **Differential Scanning Calorimetry & Thermo - Gravimetric Analysis**. Disponível em: <http://www.flemingptc.co.uk/our-services/dsc-tga/>. Acesso em: 20/12/2013.

FLORA BRASILEIRA, 2010. Disponível em: www.brazil/ru/pt/nature/flora.mht. Acesso em: dez/2010.

FLORASBS. **Sida acuta – Malva-baixa**. Disponível em: <http://sites.google.com/site/florasbs/malvaceae/malva-baixa>. Acesso em: Nov/2012.

FONSECA, R. G.; SANTANA, J. C. F. **Análise de Fios Equipamentos e Aspectos Relevantes de Qualidade**. Circular Técnico, 69 – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. ISSN 0100-6460. 9 p. Campina Grande, PB. 2003.

FOURDRIGNIEZ, M. **Southwest Environmental Information Network**. SEIT. 2010. Disponível em: <http://swbiodiversity.org>. 2010.

FRANZOTTI, E. M.; SANTOS, C. V. F.; RODRIGUES, H. M. S. L.; MOURÃO, R. H. V.; ANDRADE, M. R.; ANTONIOLLI, A. R. Anti-inflammatory, analgesic activity and acute toxicity of *Sida cordifolia* L. (Malva-branca). **Journal of Ethnopharmacology**, v. 72, n. 1-2, p. 273-277, 2000.

GAÑÁN, P.; ZULUAGA, R.; VELEZ, J.M.; MONDRAGON, I. Biological natural retting for determining the hierarchical structuration of banana fibers. **Macromolecular Science**, v. 4, p. 978-983, 2004.

GIULIETTI, A.M. HARLEY, R. M. QUEIROZ, L. P. WANDERLEY, M. G. L. VAN DEN BERG, C. **Biodiversidade e conservação das plantas no Brasil**. Megadiversidade, vol.1, nº 1. Julho, 2005.

GOMES, S.M; BATISTA, L. M. **Investigação da toxicidade do extrato etanólico bruto obtido das partes aéreas de Sidastrum paniculatum Fryxell**. In: XI Encontro de Iniciação à Docência – UFPB – PRG. João Pessoa, Paraíba, 2007.

GÓMEZ, A.H.; WANG, J.; HU, G.; PEREIRA, A.G. Monitoring storage shelf life of tomato using electronic nose technique. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 4, p. 625-631, 2008.

GUIMARÃES, J. R.; ALMEIDA JR, R. L.; MANIERO M. G.; FADINI, P. S. Ozonização em meio básico para redução de cor do licor negro de indústria de celulose de algodão. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.15, n.1, p. 93-98, 2010.

HAACK, M. S. **Análise de materiais por espectroscopia no infravermelho dentro do sistema de gestão de qualidade conforme ABNT NBR ISO/IEC 17025**. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Química da Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre, 2010. 50p.

HONGU, T. PHILLIPS, O. G. *New Fibers*. Second edition, p. (1 -5 / 209 -234). ISBN 1 85573 334 X. **Woodhead Publishing Limited**. Cambridge, England, 1997.

HOUCK, M. M. *Identification of textile fibers*. ISBN 978-1-84569-266-7. **Woodhead Publishing in Textiles: Number 84**. Cambridge, England. 2009. 375p.

HOUWINK, R. J. *Prakt. Chem.*, v. 157, n. 15, 1940. Discutido por Paul; H. C.; Lodge P. T. In: **Polymer Chemistry**. 2nd ed. Boca Raton: CRC P, 2007. 336, 338–339.

HUANG, J. F.; ZHOU, X. P. Molecular characterization of two distinct begomoviruses from *Ageratum conyzoides* and *Malvastrum coromandelianum* in China. **Journal of Phytopathology**, v. 154, n. 11-12, p. 648–653, 2006.

HUDA, M. S. DRZAL, L. T. RAY, D. MOHANTY, A. K. MISHRA, M. Natural-fiber composites in the automotive sector. In: PICKERING, KIM. L. **Properties and performance of natural-fibre composites**. ISBN: 978-1-84569-267-4 Woodhead Publishing and Maney Publishing on behalf of The Institute of Materials, Minerals & Mining. Cambridge, England, 2008. Cap. 7, p. 221 – 268.

IBGE. **A Flora Brasileira**. 2011. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/pesquisas/geo/a_flora.html. Acesso em Nov/2012.

IEMI - INSTITUTO DE ESTUDOS E MARKETING INDUSTRIAL. **Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira: Brasil têxtil 2011**. São Paulo: IEMI, 2011.

IMAI, E. M. NII, P. M. **Fibras Naturais e sua Aplicação na Arquitetura. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo**. Trabalhos finais 2009. São Paulo, 2009.

IOZZI, M. A.; MARTINS, G. S.; MARTINS, M. A.; FERREIRA, F. C.; JOB, A. E.; MATTOSO, L. H. C. Estudo da Influência de Tratamentos Químicos da Fibra de Sisal nas Propriedades de Compósitos com Borracha Nitrílica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 1, p. 25-32, 2010.

ITIS, **Catalogue of Life: 26th July 2011 – Species Details**. Disponível em: <http://www.catalogueoflife.org/details/species/id/7040315>. Acesso em: nov/2012.

JIANG, T.; ZHOU, X. Molecular characterization of a distinct begomovirus species and its associated satellite DNA isolated from *Malvastrum coromandelianum* in China. **Virus Genes**, v. 31, n. 1, p. 43-48, 2005.

JUTE - THE GOLDEN FIBRE. Disponível em: <http://www.jutexpo.co.uk/>. Acesso em: dez/2012.

KADLA, J.F.; KUBO, S.; VENDITTI, R.A.; GILBERT, R.D.; COMPERE, A.L.; GRIFFITH, W. Lignin-based carbon fibers for composite fiber applications. **Carbon**, v. 40, n. 15, p. 2913–2920, 2002.

KANTH, V. R.; DIWAN, P. V. **Analgesic, antiinflammatory and hypoglycaemic activities of *Sida cordifolia***. *Phytotherapy Research*, v. 13, n. 1, p. 75–77, 1999.

KASWELL, E. R. **Wellington Sears Handbook of Industrial Textiles**. Massachusetts Institute of Technology (MIT) e Wellington Sears Company, Cambridge, Estados Unidos, 1963, p. 757.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da Madeira**. (3ª. Edição revisada). Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Curitiba 2005.

KUMAR, R.S.; MISHRA, S.H. Anti-inflammatory and hepatoprotective activities of *Sida rhombifolia* Linn. **Indian Journal of Pharmacology**, v. 29, n. 2, p. 110-116, 1997.

KUASNE, A. **Fibras têxteis. In: Curso têxtil em malharia e confecção - 2º módulo**. Ministério Da Educação, Secretaria De Educação Média E Tecnológica Centro Federal De Educação Tecnológica De Santa Catarina, Unidade De Araranguá. Araranguá, 2008.

LAVER, J. TUCKER, A. DE LA HAYE, A. **Costume and fashion. A concise history**. p. 8 – 13. 4 Ed. ISBN: 0500203482 W Norton & Co Inc. London, 2002.

LEÃO, M. A. **Fibras de Licurí: Um reforço alternativo de compósitos poliméricos**. 2008. 109p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

LEGNER, E. F. **Fibers and plant fibers**. University of California. 2011. Disponível em: <http://www.faculty.ucr.edu/~legneref/botany/fibers.htm>. Acesso em dez/2012.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**. Nova Odessa, Instituto Plantarum da Flora Ltda, 3a ed., v. 1, 2000. 352 p.

LORENZI, H. **Plantas Daninhas do Brasil: Terrestres, Aquáticas, Parasitas e Tóxicas**. Instituto Plantarum. Nova Odessa, SP, 4a ed. 2008. 672 p. il.

LUCAS, E. F.; SOARES, B. G.; MONTEIRO, E. Caracterização de polímeros: determinação de peso molecular e análise térmica. Rio de Janeiro: **e-papers**, 2001. ISBN 85-87922-25-4. 366p.

MACHADO, M. L. C.; PEREIRA, N. C.; MIRANDA, L. F.; TERENCE, M. C.; PRADELLA, J. G. C. Estudo das Propriedades Mecânicas e Térmicas do Polímero Poli-3-Hidroxitirato (PHB) e de Compósitos PHB/Pó de Madeira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 1, p. 65-71, 2010

MAGENTA, M. Célula vegetal. **Curso de morfologia e anatomia dos vegetais**. UNISANTA – Universidade Santa Cecília. Santos, SP, 2008. Disponível em: <http://professores.unisanta.br/maramagenta/celulavegetal.asp>. Acesso em dez/2012.

MALUF, E; KOLBE, W. **Dados Técnicos para a Indústria Têxtil**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e Associação Brasileira da Indústria Têxtil e da Confecção ABIT. 2ª Ed., São Paulo, 2003. 336 p.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis**. 1. Ed. 2. Reimpr. Editora da Universidade de São Paulo. 368p. São Paulo, 2008.

MARCHI, E. C. S. CASTRO, D. M. **Revisão de Microscopia**. Ministério da Educação e do Desporto - Universidade Federal De Lavras. Departamento De Agricultura. 25p. 2005. Disponível em: <http://www.if.ufij.br/~micha/arquivos/apresentacoes/micgeral.PDF>. Acesso em: dez/ 2013.

MARCHINI, L.C.; MORETI, A.C.C.C.; TEIXEIRA, E.W.; SILVA, E.C.A.; RODRIGUES, R.R.; SOUZA, V. C. Plantas visitadas por abelhas africanizadas em duas localidades do Estado de São Paulo. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 2, p. 413-420, 2001.

MANRICH, S. **Processamento de termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. São Paulo: Editora Artiber. 2005. 431 p.

MARINELLI; A.L.; MONTEIRO, M.R.; AMBRÓSIO, J.D.; BRANCIFORTI, M.C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A.D. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.

MARTIN, A. F., Meeting of the Am. Chem. Soc., Memphis, April 20-24, 1942. Discutido por Huggins, M. L. In: **Cellulose and Cellulose Derivatives**, High Polymer, Vol. 5, New York: E. Ott, editor, 1943. p. 966.

MATTOSO, L. H. C. Conferência Internacional de Compósitos Reforçados com Fibras Vegetais. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 2, Abr/Jun, p. 16, 1999.

MEDEIROS, E. S; MATTOSO L.H.C; CARVALHO L. H. **Uso de Tecidos de Fibras Vegetais para Melhoria das Propriedades de Materiais Plásticos**. Circular Técnica, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento n.16. São Carlos, SP. Novembro, 2002.

MEDICINALPLANTS-KR.ORG. *Sida acuta*. Disponível em: http://www.medicinalplants-kr.org/Sida_acuta.htm. Acesso em: Nov/2012.

MEDINA, J. C. **Plantas Fibrosas da Flora Mundial**. Impresso pelo Instituto Agronômico de Campinas, 1959. 913p.

MICROLAB GALLERY. **Photographic Gallery – Thousands of particles under the microscope – Cotton**. Disponível em: <http://www.microlabgallery.com/gallery/Cotton1Ac.aspx>. Acesso em: 11/dez/2013.

MOLECULAR EXPRESSIONS. **Plant cell wall**. 2011. Disponível em: <http://micro.magnet.fsu.edu/cells/plants/cellwall.html>. Acesso em dez/2012.

MORATO, E.F.; CAMPOS, L.A.O. Partição de recursos florais de espécies de *Sida Linnaeus e Malvastrum coromandelianum* (Linnaeus) Garcke (Malvaceae) entre *Cephalurgus anomalus* Moure & Oliveira (Hymenoptera, Andrenidae, Panurginae) e *Melissoptila cnecomala* (Moure) (Hymenoptera, Apidae, Eucerini). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 17, n. 3, p. 705-727, 2000.

MORGADO, D. L. **Biocompósitos a partir de celulose de linter: Filmes de acetatos de celulose/celulose e quitosana/celulose**. Tese apresentada ao Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciências. São Carlos, 2009. 290p.

MOTTA, L. A. de C. **Caracterização de fibras curtas empregadas na construção Civil 1**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil - EPUSP; BT/PCC/450. 23 p. São Paulo, 2007.

MUSEO VIRTUAL DE LA BIODIVERSIDAD DE LA PROVINCIA DE MISIONES ARGENTINA. Disponível em: <http://exactas-unam.dyndns.org/~museovirtual>. Acesso em: Jun/2012.

MWAIKAMBO, L. Y. ANSELL, M. P. Chemical Modification of Hemp, Sisal, Jute, and Kapok Fibers by Alkalization. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 84, n. 12, p. 2222–2234, 2002.

NARDY, A. J. R. **Ortoscopia III: Observação dos Minerais a Nicóis Cruzados: Birrefringência, Sinal de Elongação e Espessura**. Mineralogia Óptica. Práticas, PVIII, 9 pag. São Paulo, 2007.

NATURDATA. *Sida rhombifolia* L. Biodiversidade on-line. Disponível em: <http://naturdata.com/Sida-rhombifolia-4191.htm>. Acesso em Nov/2012.

NATURAL FIBERS 2009. **Why natural fibers.** Disponível em: <http://www.naturalfibres2009.org/>. Acesso em: dez/2012.

NETO, J.M.M. **Compósitos.** Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Piauí, Teresina, PI. Março, 2006. Disponível em: <http://www.fapepi.pi.gov.br>. Acesso em Nov/2012.

NOGUEIRA, E. M., NELSON, B.W., FEARNESIDE, P. M., FRANÇA, M. B., OLIVEIRA, A. C. A. Tree height in Brazil's 'arc of deforestation': shorter trees in south and south-west Amazonia imply lower biomass. **Forest Ecology and Management** 255,2963–2972. 2008.

NOGUEIRA, T.B.S.S.; MATIAS, W.N.; CAVALCANTE, J.M.S.; COSTA, D.A.; SILVA, D.A.; SOUZA, M.F.V. **Constituintes esteroidais e fenólicos isolados de *Sidastrum paniculatum* Fryxell (Malvaceae).** 29ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Águas de Lindóia (SP), 2006. Disponível em: <http://sec.sbq.org.br/cd29ra/resumos/T0861-1.pdf>. Acesso em Nov/2012.

NUNES, X. P.; MAIA, G.L.A.; ALMEIDA, J.R.G.S.; PEREIRA, F.O.; LIMA, E.O. Antimicrobial activity of the essential oil of *Sida cordifolia* L. **Revista Brasileira de Farmacognosia (Brazilian Journal of Pharmacognosy)**, v. 16, Supl., p. 642-644, 2006.

OSWALDASIA.ORG. ***Sida acuta* Burm.f. - Malvaceae – Dicotyledon.** Disponível em: <http://www.oswaldasia.org>. Acesso em: nov/2012.

PAIVA, J. M. F.; TRINDADE, W.G.; FROLLINI, E. Compósitos de Matriz Termofixa Fenólica Reforçada com Fibras Vegetais. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Out/Dez-99: 170-176, 1999.

PANDEY, S. N. DAY, A. MATHEW, M. D. Thermal Analysis of Chemically Treated Jute Fibers. Jute Technological Research Laboratories. doi: 10.1177/004051759306300303. **Textile Research Journal.** March 1993. vol. 63 no. 3 -143-150.

PCN – **Parâmetros Curriculares Nacionais. Meio Ambiente.** FNDE – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Disponível em: <ftp.fnde.gov.br>. Acesso em: dez/2012.

PERFETO, M. W. **Avaliação do efeito da inibição da celulase no biopolimento de substrato de algodão.** Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química. Florianópolis, 2012. 96p.

PEZZOLO, D. B. **Tecidos. Histórias, tramas, tipos e usos.** p. 9 – 13. ISBN: 978-85-7359-909-1. Senac São Paulo, 2007.

PHENOMWORLD. **Electron microscope.** Products. Disponível em: <http://www.phenom-world.com/electron-microscope/phenom-pure>. Acesso em: Out/2013.

PICKERING, L. Properties and performance of natural-fibre composites. p. 15 – 16. ISBN: 978-1-84569-267-4 **Woodhead Publishing and Maney Publishing on behalf of The Institute of Materials, Minerals & Mining.** Cambridge, England, 2008.

PIETROBON, V. C. **Hidrólise do bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado com ácido e álcali utilizando enzimas microbianas comerciais**. 2008. 66 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração Microbiologia Agrícola – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

PITA, P. **Fibras Têxteis**. v. 1 (341 p.) e v. 2 (293 p.), SENAI, Rio de Janeiro, 1996.

PIZYBLSKI, E. M.; FRANCISCO, A. C. **A Importância da Gestão do Conhecimento e da Sustentabilidade na Indústria Têxtil**. CONBREPPO - II Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa, PR, 2012.

POLTEX: Polido Têxtil S.A. **Indústria Têxtil no Brasil e no mundo**. Serra-ES, 2009. http://www.poltex.com.br/web/site/institucional-industria_textil_no_brasil_e_no_mundo. Acesso em: dez/2012.

PROCESSOS TÊXTEIS. **Fibras Têxteis**. Disponível em: <http://www.troficolor.pt/>. Acesso em: dez/2012.

QUEIROZ, R. S. **Aplicabilidade de Fibras Vegetais Alternativas Brasileiras na Produção de Materiais Têxteis**. 2007. 51 p. Monografia (Iniciação Científica CNPq - Escola de Artes, Ciências e Humanidades) - Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 2007.

RATIKANTA, M.; NARAYANAN, S. S.; HIMADRI, S. Merits and Demerits of Some Raw Long Fibres in Relation to Textile Quality and Utility. **International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology**, v. 3, n. 3, p. 36-43, 2010.

REDDY, N.; YANG, Y. **Properties and potential applications of natural cellulose fibers from cornhusks**. **Green Chemistry**, Cambridge, v. 7, n. 4, p. 190-195, 2005.

RIBEIRO, L.G.; ANDRADE FILHO, J. **Introdução à Engenharia Têxtil**. v. 1 (208 p.), v. 2 (214 p.), v.3. (196 p.) SENAI, Rio de Janeiro, 1987.

RODRIGUEZ-PARDINA, P.E.; ZERBINI, F. M.; DUCASSE, D.A. Diversidade genética de begomovírus associados às culturas da soja e feijoeiro na região Noroeste da Argentina. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 342-348, 2006.

ROJAS, J. LOPEZ, A. GUISSAO, S. ORTIZ, C. Evaluation of several microcrystalline celluloses obtained from agricultural by-products. **Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research**, v. 2, n. 3, p. 144-150, 2011.

ROZMAN, H.D. KUMAR, R. N. ABUSAMAH, A. SAAD, M. J. **Rubberwood–polymer composites based on glycidyl methacrylate and diallyl phthalate**. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com>. Acesso em: Nov/2012.

SALEM, V.; DE MARCHI, A.; MENEZES, F.G. **O beneficiamento têxtil na prática**. 1ª ed. São Paulo, Golden Química do Brasil, 2005. 189 p.

SALIBA, E. O. S.; RODRÍGUEZ, N. M.; MORAIS, S. A. L.; PILÓ - VELOSO, D. Ligninas, métodos de obtenção e caracterização química. **Ciência Rural**, v.31, n.5, p.917-928, 2001.

SANTOS, P. A. SPINACÉ, M. A. S. FERMOSELLI, K. K. G. DE PAOLI, M. A. Processamento e tratamento da fibra de curauá nas propriedades de compósitos com poliamida-6. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 19, nº 1, p. 31-39, 2009.

SARKAR, B. K. DIPA RAY. Characterization of Alkali-Treated Jute Fibers for Physical and Mechanical Properties. **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 80, 1013–1020. John Wiley & Sons, Inc., 2001.

SATYANARAYANA, K.G.; RAVIKUMAR, K.; SUKUMARAN, K.; MUKHERJEE, P.S.; PILLAI, G.K.; KULKANI A.G. Structure and properties of some vegetable fibres. **Journal of Materials Science** 21: 57-63, 1986.

SAVASTANO JR, H. **Fibras vegetais para construção civil – Fibra de coco**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil – EPUSP. Boletim patrocinado pela Companhia Cimento Portland Itaú. São Paulo, 1986. 16p.

SAVASTANO JR., H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. 2000. 144 p. Tese (Livre-Docência - Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) – Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 2000.

SAVASTANO JR., H.; SANTOS, S. Uso de resíduos de fibra vegetal em construção **Revista ComCiência** Nº 32, artigo 382, 2008. Disponível em <http://www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=32&id=382>. Acesso em: 06 set. 2013.

SAVILLE, B. P. **Physical testing of textiles**. The Textile Institute Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2007. 310p.

SAWYER, L.C.; GRUBB, D.T. **Polymer microscopy**. 2nd ed. Chapman and Hall, London, 1996. 399 p.

SBRT - Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. **Resposta Técnica**. FIERGS (Federação das Indústrias do Rio Grande do Sul)/SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial), 2008. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br/>. Acesso em: dez/2012.

SEBASTIAN M.K.; BHANDARI. M.M. Medico-ethno botany of Mount Abu, Rajasthan, India. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 12, n. 2, p. 223-230, 1984.

SEITZ A.L.; COLODEL E.M.; BARROS S.S.; DRIEMEIER D. Intoxicação experimental por *Sida carpinifolia* (Malvaceae) em ovinos. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 25, n. 1, p. 15-20, 2005.

SILVA, A. C. O.; OLIVEIRA, A. F. M.; SANTOS, D.Y.A.C.; SILVA, S. I. An approach to chemotaxonomy to the fatty acid content of some Malvaceae species. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 38, n. 5, p. 1035-1038, 2010.

SILVA, A. L. B. B. SILVA, E. O. **Conhecendo Materiais Poliméricos**. Universidade Federal de Mato Grosso - Instituto de Ciências Exatas e da Terra. Departamento de Física. Grupo de Pesquisa em Novos Materiais. Creative Commons. 2003. 84p.

SILVA, R. S. **Compósito de Resina Poliuretano Derivada de Óleo de Mamona e Fibras Vegetais**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos (SP), 2003.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S. K.; EDVANI, C. M.; RUBIRA, A. F. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 661-671, 2009.

SILVEIRA, S. **Manual das Matérias Primas Têxteis**. CILAN – Centro de Formação Profissional para a Indústria de Lanifícios. 104 p. Covilhã - Portugal, 2011.

SONESSO, M. F. C. **Obtenção e caracterização de nanocristais de celulose a partir de algodão cru e polpa kraft**. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Florianópolis, 2011.

SOULTANIDIS, N. BARRON, A. R. **TGA/DSC-FTIR Characterization of Oxide Nanoparticles**. 2009. Connexions Web site. Disponível em: <http://cnx.org/content/m23038/1.2/> Acesso em: Dez/2013.

SOUZA, N. M. C. G. **A Trajetória da Companhia Têxtil do Castanhal: A mais pura fibra amazônica. Pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido**. Núcleo de Estudos Amazônicos da Universidade Federal do Pará. Belém, 2008.

SOUTHEASTERN FLORA. *Sida rhombifolia*. Disponível em: southeasternflora.com. Acesso em: Out/2012.

STUART, B. H. **Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications**. AnTS – Analytical Techniques in the Sciences. **John Wiley and Sons**. ISBN: 978-0-470-85428-0. 244p. 2004.

SUDO, K.; SHIMIZU, K.; NAKASHIMA, N.; YOKOYAMA, A. A new modification method of exploded lignin for the preparation of a carbon fiber precursor. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 48, n. 8, p. 1485–1491, 1993.

SUMAÚMA E O HAICAI: *Ceiba Pentandra (Bombacaceae)*. Disponível em: sumauma.net. Acesso em dez/2012.

THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN. *Malvastrum coromandelianum (L.) Gurke*. Disponível em: <http://sweetgum.nybg.org/vh/specimen.php?irn=1696326>. Acesso em: Dez/2013.

THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN. *Sidastrum paniculatum (L.) Fryxell*. Disponível em: <http://sweetgum.nybg.org/vh/specimen.php?irn=1700149>. Acesso em: Dez/2013.

THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN. *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R.E.Fries. Disponível em: <http://sweetgum.nybg.org/vh/specimen.php?irn=10621641>. Acesso em: Nov/2012.

TOMCZAK, F. **Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE. 135p. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TORRES DE SOSA, A.M.; CAMARGO, F.J.; AVANZA DE TEMPORETTI, M.V.; TRESSSENS, S.G.; RICCIARDI, A.I.A. Interacción entre extractos de órganos de plantas y veneno de *Bothrops neuwiedi diporus* Cope (Yarará chica). Universidad Nacional del Nordeste (Argentina). **Comunicaciones Científicas Tecnológicas** - Resumen E-059. Disponível em: <http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2004/8-Exactas/E-059.pdf>. Acesso em: Nov/2012.

UENOJO, M.; PASTORE, G. M. Pectinases: Aplicações Industriais e Perspectivas. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 388-394, 2007.

UNODC – **United Nations Office on Drugs and Crime. Recommended methods for the identification and analysis of cannabis and cannabis products**. Manual for use by National drug analysis laboratories. United Nations. ISBN 978-92-1-148242-3. New York, 2009. 52p.

VENTURA, A. M. F.M.. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v. 21, n. 3-4, p. 10-19, 2009.

VIRBOGA. *Sida cordifolia* L. **The Virtual Botanic Garden**. Disponível em: http://www.virboga.de/Sida_cordifolia.htm. Acesso em: dez/2012.

VOGEL, A. I. **Química Analítica Quantitativa**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2002. 462 p.

VRINCEANU, N. PETRE A. B, HRISTODOR C. M. POPOVICI, E. PUI, A. COMAN, D. TANASA, D. **Zinc Oxide — Linen Fibrous Composites: Morphological, Structural, Chemical, Humidity Adsorptive and Thermal Barrier Attributes. Modern Surface Engineering Treatments**, Dr. M. Aliofkhazraei (Ed.). ISBN: 978-953-51-1149-8. InTech, DOI: 10.5772/55705. 2013 Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/modern-surface-engineering-treatments/zinc-oxide-linen-fibrous-composites-morphological-structural-chemical-humidity-adsorptive-and-therma>. Acesso em: Jan/2014.

WIEBECK, H.; HARADA, J. **Plásticos de engenharia: tecnologia e aplicações**. São Paulo: Editora Artiber, 2005. 349 p.

ZHANG, H.; WANG, J.; YE, S. Predictions of acidity, soluble solids and firmness of pear using electronic nose technique. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 3, p. 370-378, 2008.

9.1. NORMAS TÉCNICAS

Norma da “American Association of Textile Chemists and Colorists” (para análise de fibras). AATCC 20-1995: **Fiber analysis: qualitative**. v. 71, p. 50-59. Research Triangle Park, 1996. 10 p.

Norma da “American Association of Textile Chemists and Colorists” (para determinação de pH). AATCC 81-2001: **pH of the water-extract from wet processed textiles**. Research Triangle Park, 2001. 1 p.

Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (para análise microscópica). ABNT NBR 13 538-1995: **Material têxtil - Análise qualitativa**. 20 p.

Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 12331/91: **Fibras têxteis - Taxa convencional de condicionamento - Padronização**. 2 p.

Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 12744/92: **Classificação de fibras têxteis**. 8 p.

Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT ISO 139:2005: **Têxteis – Atmosferas normais de condicionamento de ensaios**. 6p.

Normas da “American Society of Testing Materials” (para alongamento e resistência no ensaio de tração). ASTM D 3 822-2001: **Standard test method for tensile properties of single textile fibers**. West Conshohocken, 2006. 10 p.

Normas da “American Society of Testing Materials” (para alongamento e resistência no ensaio de tração). ASTM D 1445-05: **Standard test methods for breaking strength and elongation of cotton fibers (Flat Bundle Method)**. West Conshohocken, 2006. 8 p.

Normas da “American Society of Testing Materials” (para determinação de pH). ASTM D 2165 -90: **Test method for pH of aqueous extracts of wool and similar animal fibers**. 6p.

Norma “International Standards Organization” (para determinação do título médio das fibras). ISO 1973-1995: **Textile fibres - Determination of linear density - Gravimetric method and vibroscope method**. 8 p.

Norma “International Standards Organization” (para determinação do *regain* das fibras). ISO/TR 6741-4 -1987: **Textiles - Fibres and yarns - Determination of commercial mass of consignments- Part 4: Values used for the commercial allowances and the commercial moisture *regains***. 6 p.

Norma “International Standards Organization” (para determinação da densidade das fibras). UNE-EN ISO 1183-1:2004. Norma Espanhola. **“Plásticos. Métodos para determinar la densidade de plásticos no celulares”. Parte 1: Método de inmersión, método del picnómetro líquido y método de valoración**. 15p.

Norma interna do Instituto de Pesquisa Têxtil e Cooperação Industrial de Terrassa INTEXTER. (para determinação do Grau de Polimerização das fibras). MO 02010. **Determinación de la viscosidade intrínseca de la celulosa. Grado de polimerización médio viscosimétrico**. 11p.

9. Anexos

Anexo I. Espécies após maceração em fundo branco e preto.

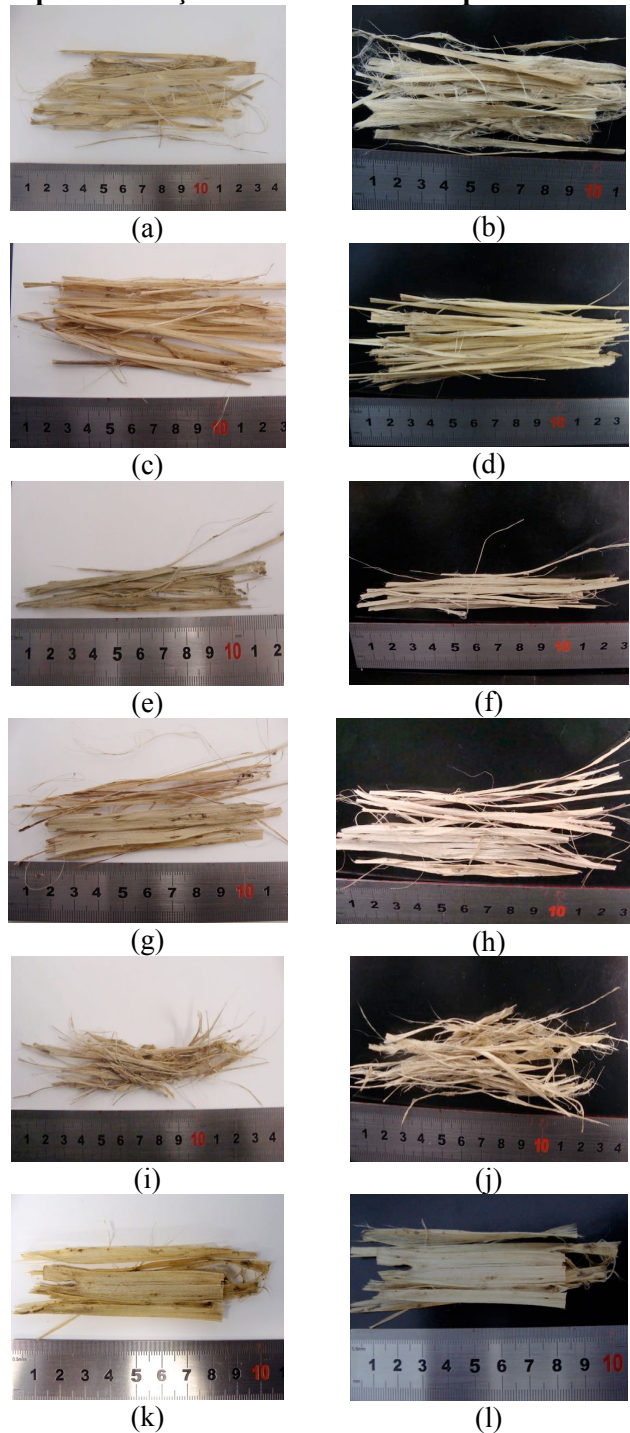


Figura I.1. Fibras após maceração em fundo branco (esquerda) e em fundo preto (direita). (a), (b): *Sida rhombifolia* L.; (c), (d): *Sida carpinifolia* L. f.; (e), (f): *Sida cordifolia* L.; (g), (h): *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell; (i), (j): *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck; (k), (l): *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries.

Anexo II. Gráficos obtidos em dinamômetro Instron (5569, EUA).

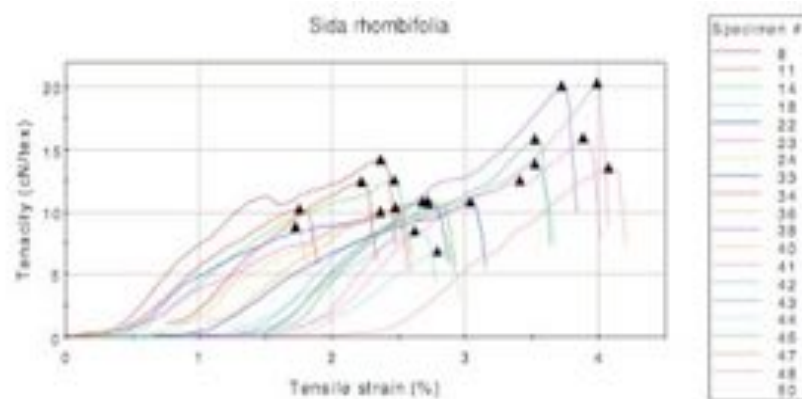


Figura II.1. Curvas tenacidade (cN/tex) por percentual de alongamento (%) do teste realizado para a espécie *Sida rhombifolia* L.

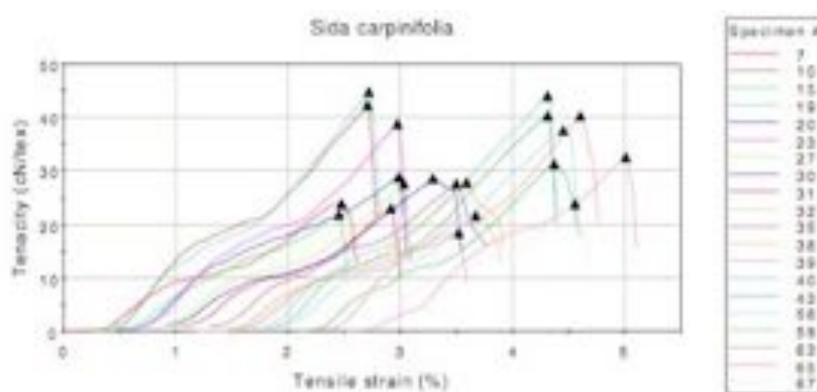


Figura II.2. Curvas tenacidade (cN/tex) por percentual de alongamento (%) do teste realizado para a espécie *Sida carpinifolia* L. f.

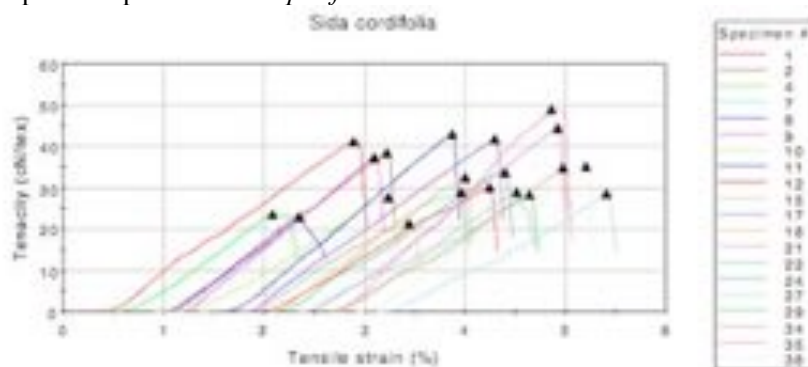


Figura II.3. Curvas tenacidade (cN/tex) por percentual de alongamento (%) do teste realizado para a espécie *Sida cordifolia* L.

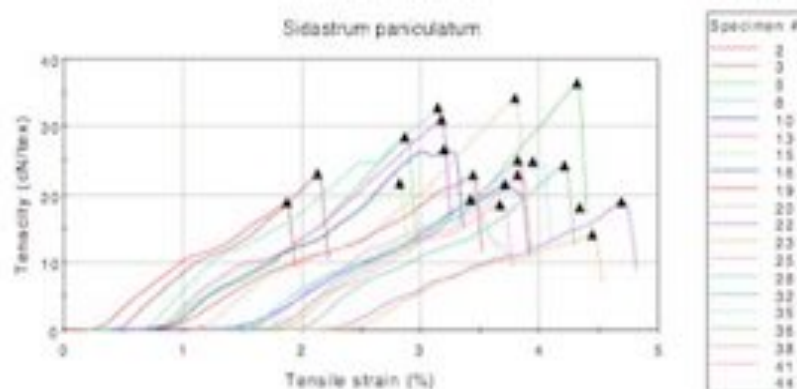


Figura II.4. Curvas tenacidade (cN/tex) por percentual de alongamento (%) do teste realizado para a espécie *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell.

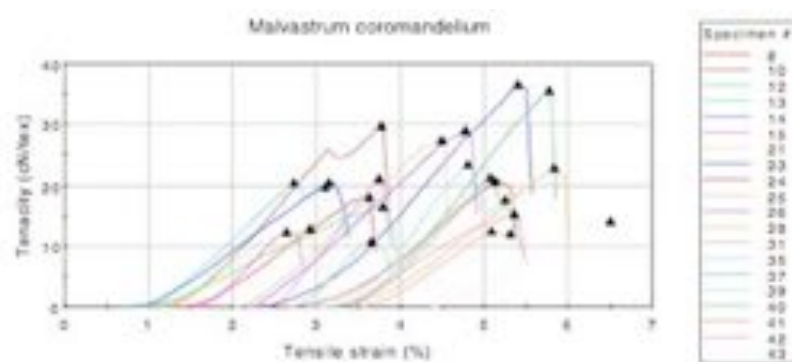


Figura II.5. Curvas tenacidade (cN/tex) por percentual de alongamento (%) do teste realizado para a espécie *Malvastrum coromandelium* (L.) Gurck.

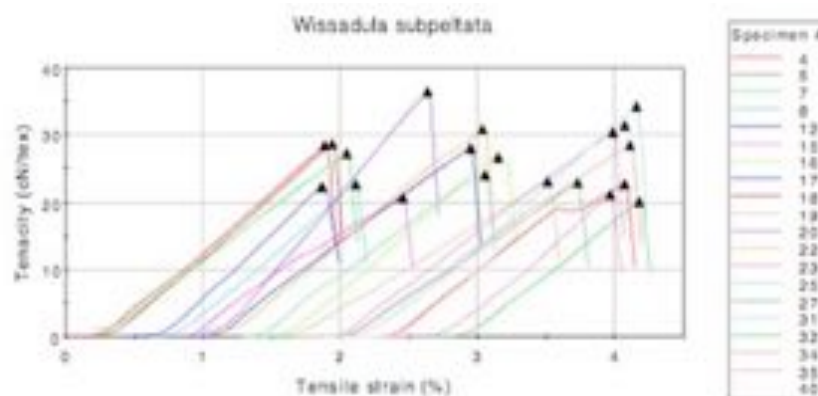


Figura II.6. Curvas tenacidade (cN/tex) por percentual de alongamento (%) do teste realizado para a espécie *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries.

Anexo III. Tabelas com os resultados obtidos em dinamômetro Instron (5569, EUA).

Nos resultados apresentados nas tabelas que se seguem, os números dos corpos-de-prova não apresentam sequência pois alguns ensaios não tiveram seus valores levados em conta nos cálculos de média, desvio-padrão e coeficiente de variação (%). O motivo está em que o aparelho antes do início do processo de tração, aplica uma pré-tensão de modo a fazer com que a fibra fique em condições padrões de estiramento antes do início do teste de tração em si mesmo, levando à obtenção de resultados errôneos, os quais foram desconsiderados.

Sida rhombifolia L.:

Tabela III.1. Valores de Densidade linear (tex), Carga máxima (N), Carga na quebra (N) e Tenacidade na quebra (cN/tex) do teste realizado para a espécie *Sida rhombifolia* L.

	Densidade Linear (tex)	Carga Máxima (N)	Carga na quebra (Standard) (N)	Tenacidade na quebra (Standard) (cN/tex)
8	27,0	2,77	2,77	10,24
11	24,2	3,44	3,44	14,23
14	27,0	3,39	3,39	12,57
18	29,0	4,02	4,02	13,87
22	32,6	3,55	3,55	10,89
23	32,3	3,35	3,35	10,38
24	32,3	3,51	3,51	10,88
33	32,0	3,46	3,46	10,80
34	21,1	2,63	2,63	12,47
36	21,1	1,88	1,88	8,90
38	23,5	4,73	4,73	20,11
40	27,0	2,71	2,71	10,04
41	27,0	5,51	5,51	20,39
42	28,2	2,40	2,40	8,52
43	28,2	4,47	4,47	15,85
44	28,2	1,94	1,94	6,87
46	23,5	2,52	2,52	10,70
47	23,5	3,18	3,18	13,54
48	27,0	4,31	4,31	15,97
50	28,2	3,56	3,56	12,64
Media	27,1	3,37	3,37	12,49
Desvio Padrão	3,525	0,928	0,928	3,531
Coeficiente de Variação	12,99	27,56	27,56	28,27

Tabela III.2. Valores de Extensão na Carga Máxima (mm), Extensão na quebra (mm), Tensão na Ruptura (%) e Modulo de Young (N/tex) do teste realizado para a espécie *Sida rhombifolia* L.

	Extensão na Carga Máxima (mm)	Extensão na quebra (mm)	Tensão na ruptura (%)	Modulo (N/tex)
8	0,44	0,44	1,75	9,905
11	0,57	0,57	2,26	11,802
14	0,57	0,57	2,27	8,794
18	0,81	0,81	3,23	11,308
22	0,58	0,58	2,33	7,338
23	0,50	0,50	2,00	6,156
24	0,53	0,53	2,11	7,911
33	0,59	0,59	2,37	7,788
34	0,36	0,36	1,46	11,954
36	0,22	0,22	0,87	14,032
38	0,70	0,70	2,78	11,994
40	0,33	0,33	1,32	8,847
41	0,71	0,71	2,85	13,478
42	0,35	0,35	1,39	7,355
43	0,55	0,55	2,20	10,609
44	0,34	0,34	1,38	7,978
46	0,30	0,30	1,21	13,079
47	0,62	0,62	2,47	9,700
48	0,55	0,55	2,19	12,850
50	0,40	0,40	1,61	11,173
Media	0,50	0,50	2,00	10,203
Desvio Padrão	0,154	0,154	0,615	2,348
Coeficiente de Variação	30,70	30,70	30,70	23,01

Sida carpinifolia* L. f.:*Tabela III.3.** Valores de Densidade linear (tex), Carga máxima (N), Carga na quebra (N) e Tenacidade (cN/tex) na quebra do teste realizado para a espécie *Sida carpinifolia* L. f.

	Densidade Linear (tex)	Carga Máxima (N)	Carga na quebra (Standard) (N)	Tenacidade na quebra (Standard) (cN/tex)
7	27,0	6,42	6,42	23,78
10	15,0	6,35	6,35	42,32
15	20,6	4,51	4,51	21,88
19	16,3	7,29	7,29	44,72
20	16,3	4,72	4,72	28,94
23	15,7	6,09	6,09	38,78
27	25,0	6,91	6,91	27,65
30	26,8	7,65	7,65	28,53
31	26,8	6,20	6,20	23,12
32	26,8	5,81	5,81	21,68
35	18,8	5,17	5,17	27,50
38	24,7	6,89	6,89	27,90
39	24,7	4,53	4,53	18,35
40	18,4	8,11	8,11	44,08
43	21,3	8,61	8,61	40,42
58	24,5	9,21	9,21	37,58
59	24,5	7,69	7,69	31,38
63	15,2	6,11	6,11	40,18
65	15,2	4,95	4,95	32,57
67	21,7	5,18	5,18	23,87
Media	21,3	6,42	6,42	31,26
Desvio Padrão	4,538	1,372	1,372	8,284
Coefficiente de Variação	21,34	21,38	21,38	26,50

Tabela III.4. Valores de Extensão na Carga Máxima (mm), Extensão na quebra (mm), Tensão na Ruptura (%) e Modulo de Young (N/tex) do teste realizado para a espécie *Sida carpinifolia* L. f.

	Extensão na Carga Máxima (mm)	Extensão na quebra (mm)	Tensão na ruptura (%)	Modulo (N/tex)
7	0,62	0,62	2,48	14,839
10	0,64	0,64	2,58	23,590
15	0,55	0,55	2,19	14,550
19	0,58	0,58	2,33	27,297
20	0,62	0,62	2,46	18,854
23	0,58	0,58	2,32	24,258
27	0,56	0,56	2,25	19,285
30	0,59	0,59	2,38	16,066
31	0,47	0,47	1,87	18,886
32	0,62	0,62	2,49	15,212
35	0,55	0,55	2,20	16,321
38	0,54	0,54	2,15	19,763
39	0,49	0,49	1,95	15,670
40	0,65	0,65	2,61	23,636
43	0,62	0,62	2,48	23,123
58	0,62	0,62	2,49	21,516
59	0,57	0,57	2,29	20,573
63	0,59	0,59	2,38	25,561
65	0,67	0,67	2,66	22,412
67	0,52	0,52	2,07	19,861
Media	0,58	0,58	2,33	20,064
Desvio Padrão	0,053	0,053	0,213	3,816
Coeficiente de Variação	9,14	9,14	9,14	19,02

Sida cordifolia* L.:*Tabela III.5.** Valores de Densidade linear (tex), Carga máxima (N), Carga na quebra (N) e Tenacidade na quebra (cN/tex) do teste realizado para a espécie *Sida cordifolia* L.

	Densidade Linear (tex)	Carga Máxima (N)	Carga na quebra (Standard) (N)	Tenacidade na quebra (Standard) (cN/tex)
1	20,8	8,59	8,59	41,28
2	20,8	8,03	8,03	38,58
4	27,9	6,59	6,59	23,61
7	27,7	8,06	8,06	29,08
8	26,0	5,95	5,95	22,87
9	26,0	9,69	9,69	37,25
10	26,0	7,24	7,24	27,83
11	24,3	10,46	10,46	43,04
12	24,3	7,34	7,34	30,21
15	35,6	7,68	7,68	21,56
17	24,6	10,29	10,29	41,82
18	24,6	7,99	7,99	32,46
21	23,3	10,34	10,34	44,36
22	23,3	6,72	6,72	28,83
24	30,0	10,14	10,14	33,80
27	22,2	6,36	6,36	28,65
29	30,0	8,46	8,46	28,21
34	18,8	6,55	6,55	34,84
35	18,1	8,86	8,86	48,95
38	20,0	7,04	7,04	35,19
Media	24,7	8,12	8,12	33,62
Desvio Padrão	4,234	1,449	1,449	7,650
Coefficiente de Variação	17,13	17,85	17,85	22,75

Tabela III.6. Valores de Extensão na Carga Máxima (mm), Extensão na quebra (mm), Tensão na Ruptura (%) e Modulo de Young (N/tex) do teste realizado para a espécie *Sida cordifolia* L.

	Extensão na Carga Máxima (mm)	Extensão na quebra (mm)	Tensão na ruptura (%)	Modulo (N/tex)
1	0,72	0,72	2,89	20,097
2	0,77	0,77	3,07	19,761
4	0,45	0,45	1,79	18,454
7	0,88	0,88	3,51	16,754
8	0,44	0,44	1,75	19,945
9	0,58	0,58	2,34	20,834
10	0,58	0,58	2,33	16,265
11	0,71	0,71	2,82	21,307
12	0,76	0,76	3,03	15,864
15	0,52	0,52	2,09	13,858
17	0,70	0,70	2,79	19,089
18	0,59	0,59	2,35	19,511
21	0,78	0,78	3,11	20,311
22	0,64	0,64	2,55	15,534
24	0,57	0,57	2,28	17,428
27	0,79	0,79	3,15	15,901
29	0,56	0,56	2,23	17,957
34	0,60	0,60	2,41	17,330
35	0,54	0,54	2,15	27,603
38	0,58	0,58	2,33	19,795
Media	0,64	0,64	2,55	18,680
Desvio padrão	0,119	0,119	0,477	2,929
Coefficiente de variação	18,70	18,70	18,70	15,68

***Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell:**

Tabela III.7. Valores de Densidade linear (tex), Carga máxima (N), Carga na quebra (N) e Tenacidade na quebra (cN/tex) do teste realizado para a espécie *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell.

	Densidade Linear (tex)	Carga Máxima (N)	Carga na quebra (Standard) (N)	Tenacidade na quebra (Standard) (cN/tex)
2	25,3	4,77	4,77	18,86
3	25,3	5,82	5,82	23,00
5	25,3	7,18	7,18	28,38
8	20,9	6,84	6,84	32,74
10	26,0	5,61	5,61	21,56
13	27,1	8,44	8,44	31,14
15	27,1	5,89	5,89	21,74
16	23,8	6,35	6,35	26,68
19	25,0	5,70	5,70	22,79
20	25,0	8,58	8,58	34,31
22	28,5	5,40	5,40	18,95
23	28,5	4,05	4,05	14,19
25	20,0	5,02	5,02	25,09
28	28,0	5,39	5,39	19,26
32	24,6	5,95	5,95	24,20
35	23,0	5,72	5,72	24,85
36	23,0	8,39	8,39	36,47
38	21,2	4,83	4,83	22,80
41	21,7	4,04	4,04	18,60
44	23,7	4,28	4,28	18,07
Media	24,7	5,91	5,91	24,18
Desvio Padrão	2,509	1,375	1,375	5,925
Coeficiente de Variação	10,18	23,27	23,27	24,50

Tabela III.8. Valores de Extensão na Carga Máxima (mm), Extensão na quebra (mm), Tensão na Ruptura (%) e Modulo de Young (N/tex) do teste realizado para a espécie *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell.

	Extensão na Carga Máxima (mm)	Extensão na quebra (mm)	Tensão na ruptura (%)	Modulo (N/tex)
2	0,47	0,47	1,87	15,270
3	0,51	0,51	2,04	17,280
5	0,67	0,67	2,67	18,015
8	0,71	0,71	2,85	18,482
10	0,83	0,83	3,32	12,236
13	0,67	0,67	2,69	15,929
15	0,56	0,56	2,24	14,905
16	0,63	0,63	2,52	16,350
19	0,66	0,66	2,66	10,268
20	0,73	0,73	2,92	17,962
22	0,93	0,93	3,72	11,032
23	0,84	0,84	3,37	9,461
25	0,66	0,66	2,65	15,310
28	0,54	0,54	2,15	14,958
32	0,71	0,71	2,85	14,924
35	0,62	0,62	2,49	12,358
36	0,69	0,69	2,76	20,617
38	0,54	0,54	2,16	16,551
41	0,48	0,48	1,91	11,346
44	0,62	0,62	2,49	11,808
Media	0,65	0,65	2,62	14,753
Desvio Padrão	0,122	0,122	0,487	3,059
Coeficiente de Variação	18,59	18,59	18,59	20,73

***Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck:**

Tabela III.9. Valores de Densidade linear (tex), Carga máxima (N), Carga na quebra (N) e Tenacidade na quebra (cN/tex) do teste realizado para a espécie *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck.

	Densidade Linear (tex)	Carga Máxima (N)	Carga na quebra (Standard) (N)	Tenacidade na quebra (Standard) (cN/tex)
8	31,5	5,69	5,69	18,06
10	20,5	6,11	6,11	29,80
12	36,9	6,07	6,07	16,46
13	36,9	7,57	7,30	19,77
14	36,9	7,53	7,53	20,42
15	36,2	4,46	4,46	12,33
21	21,1	2,75	2,75	13,03
23	21,0	7,68	7,68	36,57
24	26,3	5,46	5,46	20,77
25	23,0	6,30	6,30	27,37
26	33,3	9,70	9,70	29,12
28	33,3	7,59	7,59	22,80
31	28,5	6,00	6,00	21,04
35	35,2	3,81	3,81	10,81
37	26,6	9,45	9,45	35,53
39	22,3	5,25	3,95	17,70
40	22,3	4,73	4,73	21,22
41	29,0	3,66	3,53	12,18
42	29,0	4,44	4,44	15,31
43	29,0	4,07	4,07	14,04
Media	28,9	5,92	5,83	20,72
Desvio Padrão	5,887	1,887	1,929	7,548
Coefficiente de Variação	20,34	31,89	33,08	36,43

Tabela III.10. Valores de Extensão na Carga Máxima (mm), Extensão na quebra (mm), Tensão na Ruptura (%) e Modulo de Young (N/tex) do teste realizado para a espécie *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck.

	Extensão na Carga Máxima (mm)	Extensão na quebra (mm)	Tensão na ruptura (%)	Modulo (N/tex)
8	0,91	0,91	3,62	10,781
10	0,90	0,90	3,59	16,102
12	0,86	0,86	3,43	7,732
13	0,54	0,64	2,55	13,377
14	0,60	0,60	2,41	10,575
15	0,43	0,43	1,72	14,712
21	0,45	0,45	1,81	11,062
23	1,03	1,03	4,11	16,457
24	0,91	0,91	3,65	11,905
25	0,71	0,71	2,83	13,984
26	0,73	0,73	2,92	12,982
28	0,95	0,95	3,79	11,143
31	0,38	0,38	1,53	19,292
35	0,31	0,31	1,25	15,272
37	0,80	0,80	3,18	18,282
39	0,51	0,62	2,48	18,823
40	0,53	0,53	2,11	15,611
41	0,48	0,54	2,17	9,941
42	0,51	0,51	2,03	9,686
43	0,75	0,75	2,99	9,743
Media	0,66	0,68	2,71	13,373
Desvio Padrão	0,215	0,208	0,830	3,357
Coefficiente de Variação	32,32	30,65	30,65	25,10

***Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries:**

Tabela III.11. Valores de Densidade linear (tex), Carga máxima (N), Carga na quebra (N) e Tenacidade na quebra (cN/tex) do teste realizado para a espécie *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries.

	Densidade Linear (tex)	Carga Máxima (N)	Carga na quebra (Standard) (N)	Tenacidade na quebra (Standard) (cN/tex)
4	31,0	8,80	8,80	28,38
5	31,0	8,89	8,89	28,67
7	24,7	6,76	6,76	27,35
8	24,7	5,62	5,62	22,74
12	18,0	4,01	4,01	22,28
15	34,0	7,06	7,06	20,77
16	34,0	9,04	9,04	26,58
17	31,0	8,69	8,69	28,02
18	31,0	7,05	7,05	22,73
19	41,6	9,64	9,64	23,16
20	17,5	6,38	6,38	36,46
22	33,3	10,27	10,27	30,85
23	33,3	10,12	10,12	30,39
25	25,3	6,10	6,10	24,09
27	25,6	5,85	5,85	22,84
31	27,1	9,28	9,28	34,23
32	27,1	5,47	5,47	20,20
34	26,8	7,61	7,61	28,40
35	26,8	5,65	5,65	21,09
40	16,9	5,32	5,32	31,48
Media	28,0	7,38	7,38	26,54
Desvio Padrão	6,164	1,839	1,839	4,650
Coeficiente de Variação	21,99	24,92	24,92	17,52

Tabela III.12. Valores de Extensão na Carga Máxima (mm), Extensão na quebra (mm), Tensão na Ruptura (%) e Modulo de Young (N/tex) do teste realizado para a espécie *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries.

	Extensão na Carga Máxima (mm)	Extensão na quebra (mm)	Tensão na ruptura (%)	Modulo (N/tex)
4	0,47	0,47	1,89	18,283
5	0,46	0,46	1,84	18,416
7	0,46	0,46	1,85	16,332
8	0,45	0,45	1,81	18,331
12	0,37	0,37	1,47	20,116
15	0,49	0,49	1,96	16,580
16	0,64	0,64	2,56	18,627
17	0,56	0,56	2,25	16,711
18	0,82	0,82	3,28	16,917
19	0,66	0,66	2,63	13,447
20	0,41	0,41	1,65	25,637
22	0,49	0,49	1,95	17,903
23	0,70	0,70	2,80	15,952
25	0,44	0,44	1,77	16,910
27	0,59	0,59	2,35	14,271
31	0,67	0,67	2,67	18,757
32	0,65	0,65	2,60	17,114
34	0,61	0,61	2,43	14,709
35	0,55	0,55	2,19	19,015
40	0,55	0,55	2,20	24,066
Media	0,55	0,55	2,21	17,905
Desvio Padrão	0,114	0,114	0,456	2,912
Coeficiente de Variação	20,64	20,64	20,64	16,26

Anexo IV. Gráficos obtidos dos primeiros ensaios de *Diferencial Scanning Calorimetry* (DSC), realizados em aparelho DSC7 (Perkin Elmer, EUA), de 40 a 300°C, com velocidade de aquecimento de 20°C/min, utilizando amostras em condição ambiente e amostras retiradas de estufa a vácuo.

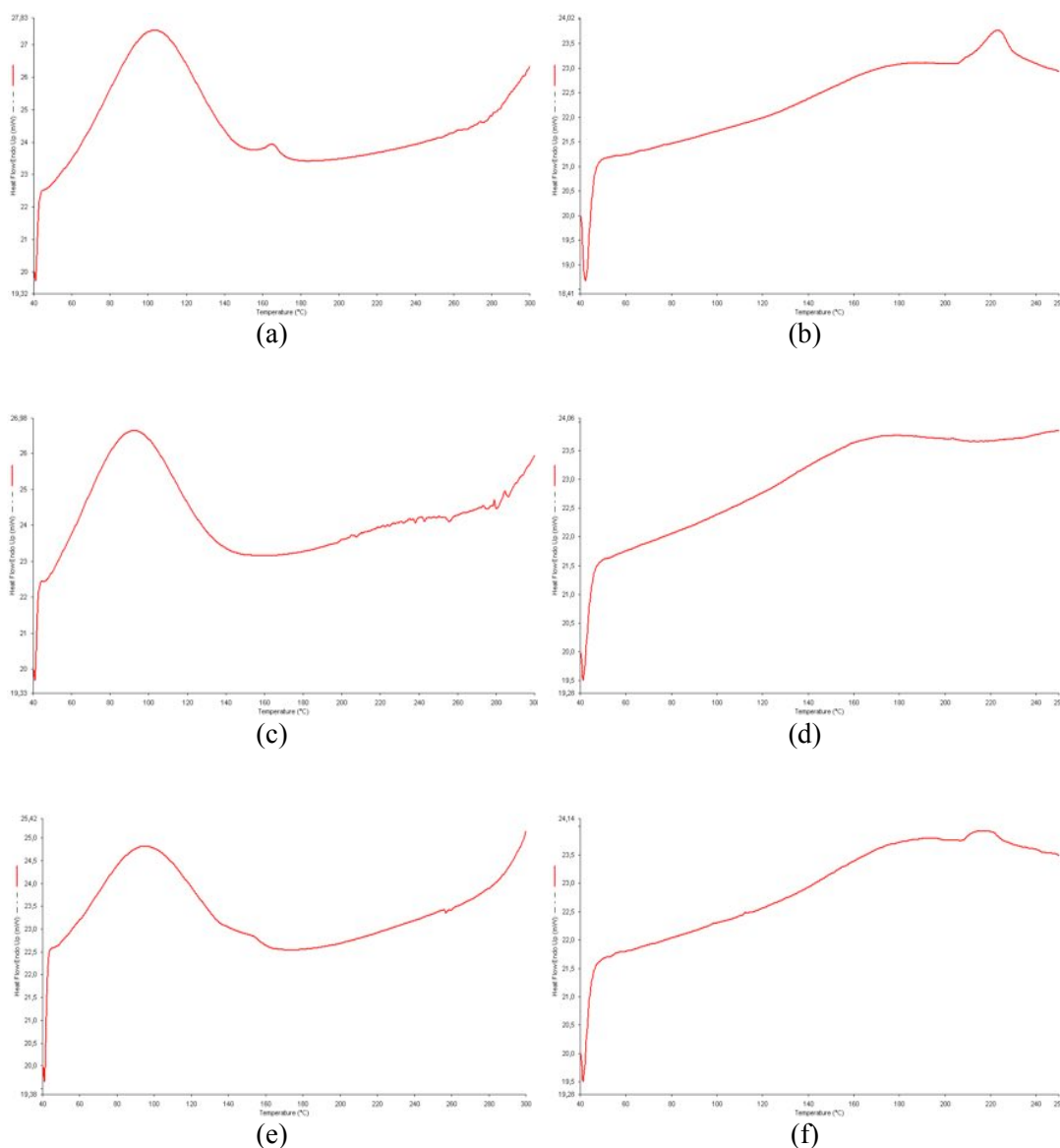


Figura IV.1. Ensaios realizados com as fibras em condição ambiente (gráficos à esquerda) e retiradas de estufa a vácuo (gráficos à direita) em *Diferencial Scanning Calorimeter* DSC7 (Perkin Elmer, USA), 40-300°C, 20°C/min. (a) e (b) *Sida rhombifolia* L.; (c) e (d) *Sida carpinifolia* L. f.; (e) e (f) *Sida cordifolia* L.

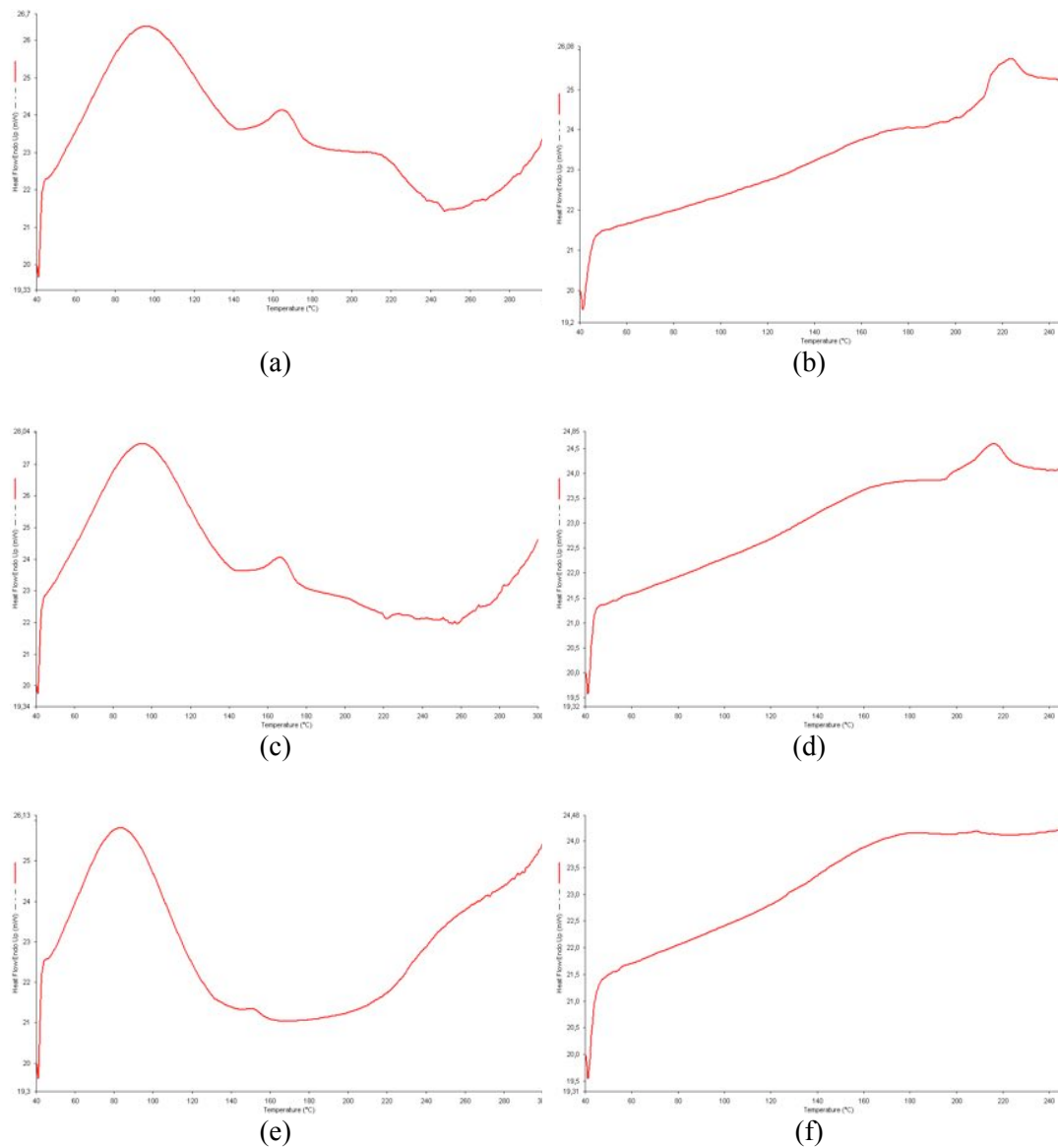


Figura IV.2. Ensaios realizados com as fibras em condição ambiente (gráficos à esquerda) e retiradas de estufa a vácuo (gráficos à direita) em *Diferencial Scanning Calorimeter* DSC7 (Perkin Elmer, USA), 40-300°C, 20°C/min. (a) e (b) *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell; (c) e (d) *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck; (e) e (f) *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries.

Anexo V. Gráficos obtidos dos ensaios de *Diferencial Scanning Calorimetry* (DSC), realizados em aparelho Mettler Star SW 8.10 (Mettler Toledo, EUA), de 0 a 450°C, com velocidade de aquecimento de 10°C/min, utilizando amostras em condição ambiente.

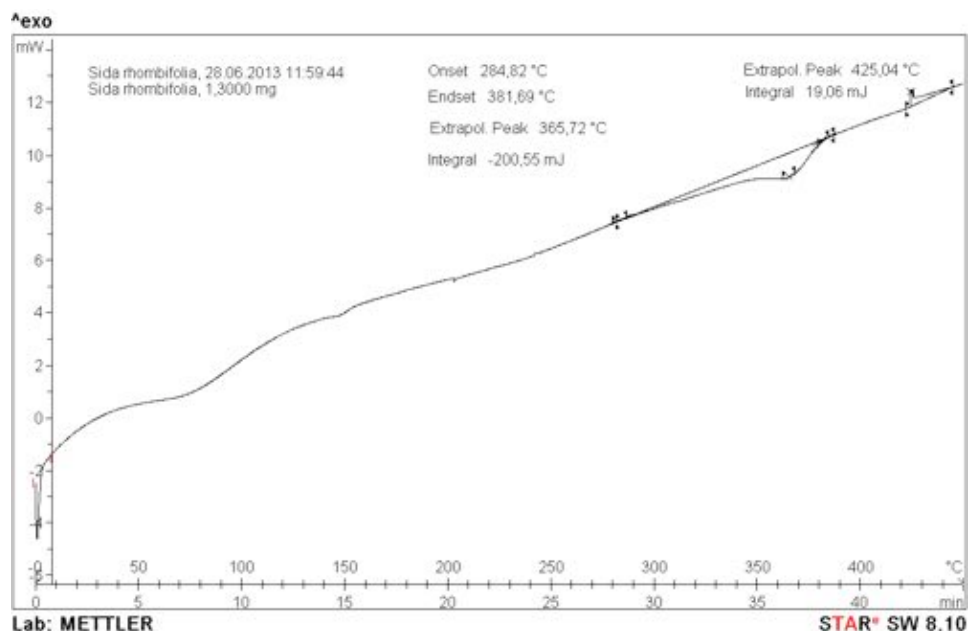


Figura V.1. Ensaio realizado com a fibra em condição ambiente em *Diferencial Scanning Calorimeter* Mettler Star SW 8.10 (Mettler Toledo, USA), 0-450°C, 10°C/min, para *Sida rhombifolia* L.

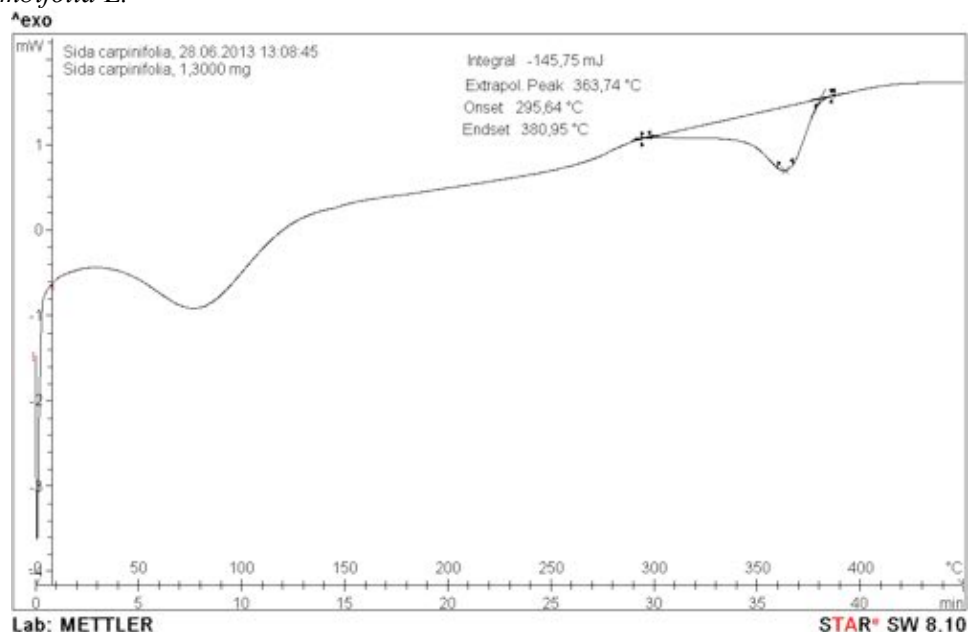


Figura V.2. Ensaio realizado com a fibra em condição ambiente em *Diferencial Scanning Calorimeter* Mettler Star SW 8.10 (Mettler Toledo, USA), 0-450°C, 10°C/min, para *Sida carpinifolia* L.f.

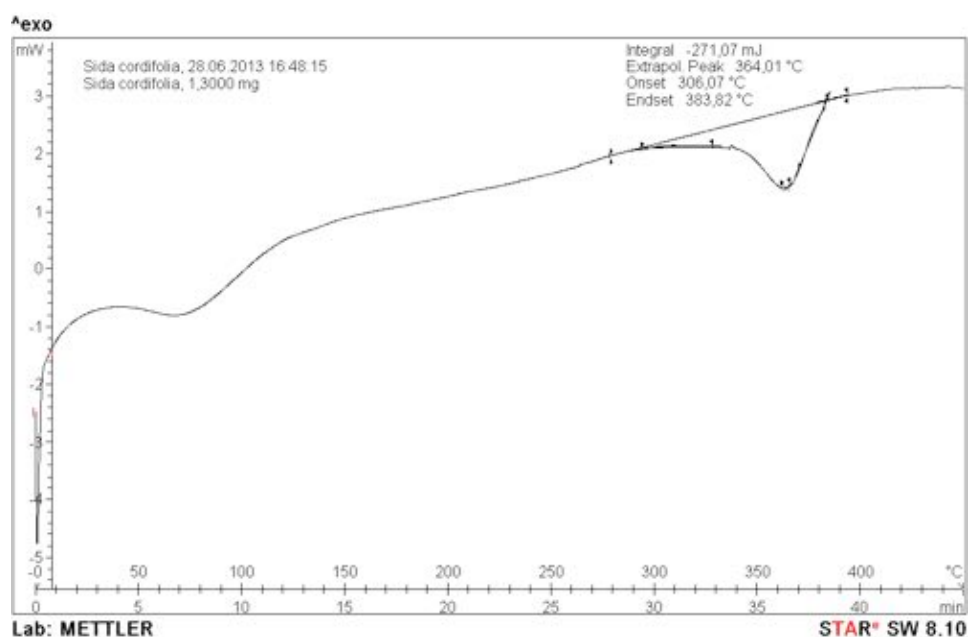


Figura V.3. Ensaio realizado com a fibra em condição ambiente em *Diferencial Scanning Calorimeter* Mettler Star SW 8.10 (Mettler Toledo, USA), 0-450°C, 10°C/min, para *Sida cordifolia* L.

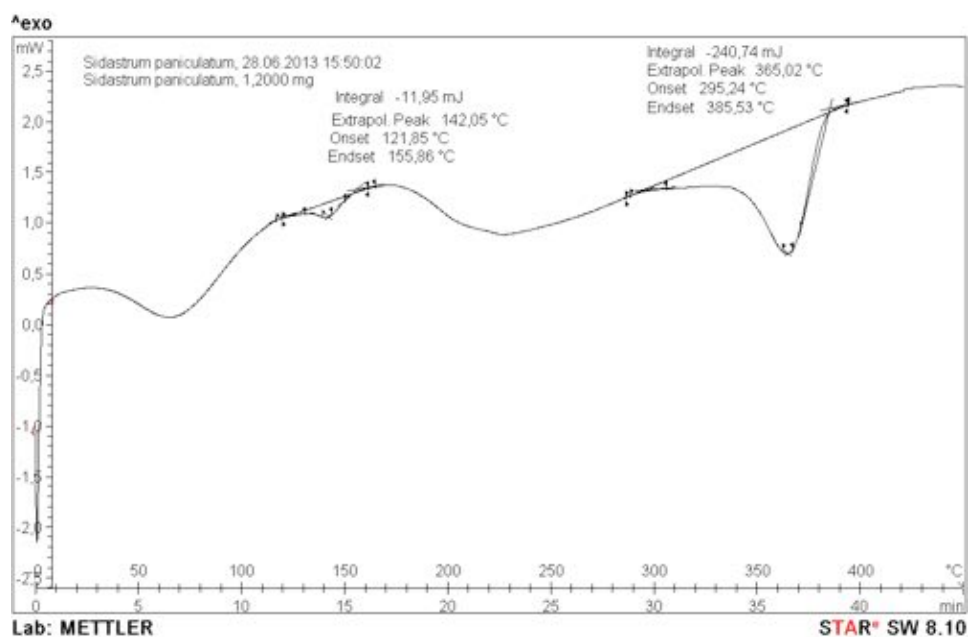


Figura V.4. Ensaio realizado com a fibra em condição ambiente em *Diferencial Scanning Calorimeter* Mettler Star SW 8.10 (Mettler Toledo, USA), 0-450°C, 10°C/min, para *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell.

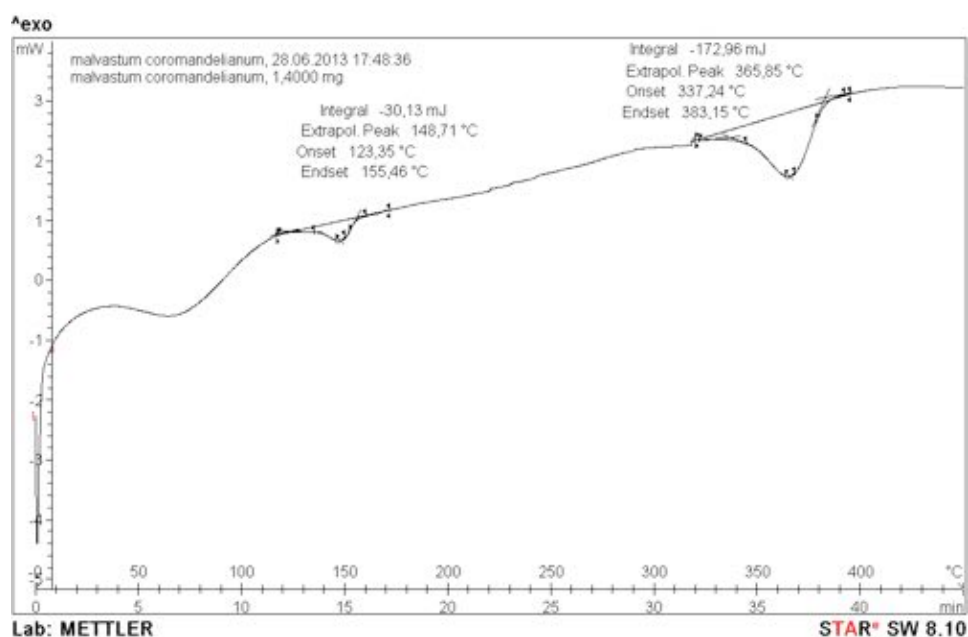


Figura V.5. Ensaio realizado com a fibra em condição ambiente em *Diferencial Scanning Calorimeter* Mettler Star SW 8.10 (Mettler Toledo, USA), 0-450°C, 10°C/min, para *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck.

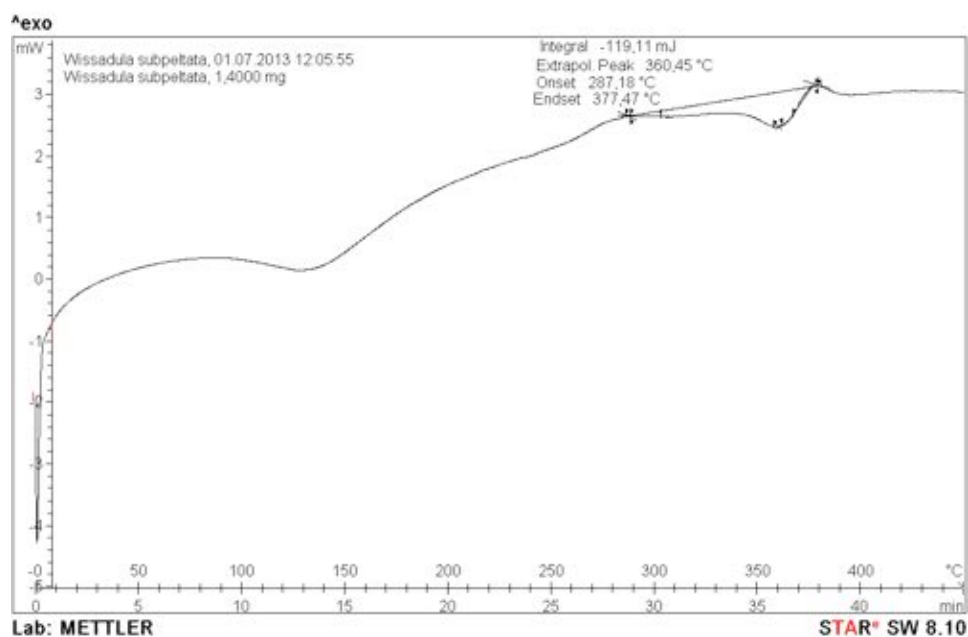


Figura V.6. Ensaio realizado com a fibra em condição ambiente em *Diferencial Scanning Calorimeter* Mettler Star SW 8.10 (Mettler Toledo, USA), 0-450°C, 10°C/min, para *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries.

Anexo VI. Gráficos obtidos dos ensaios de *Thermogravimetric Analysis* (TGA) e *Derivative Thermogravimetry* (DTG) realizados em aparelho TGA Q500 (TA Instruments, EUA), de 30 a 800°C, com velocidade de aquecimento de 30°C/min, utilizando amostras em condição ambiente.

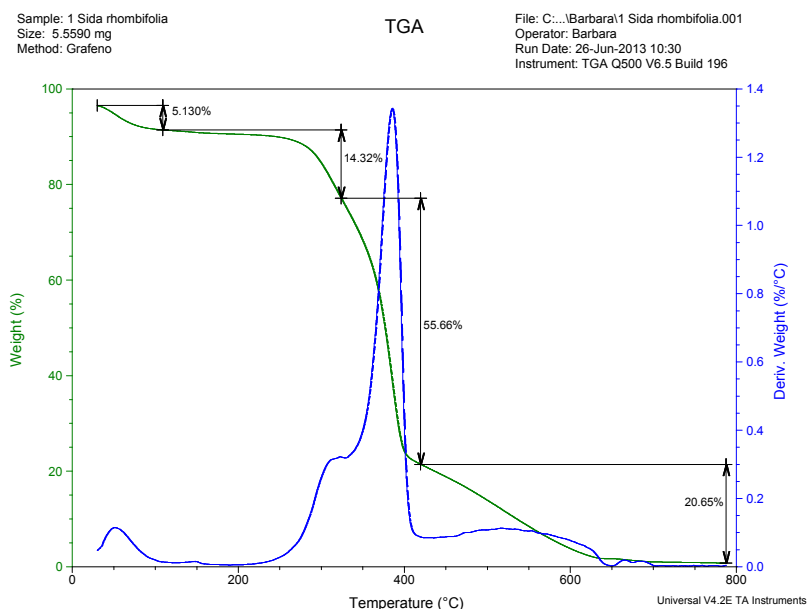


Figura VI.1. Ensaio realizado com a fibra em condição ambiente em *Thermogravimetric analyser* TGA Q500 (TA Instruments, EUA), 30-800°C, 30°C/min para *Sida rhombifolia* L.

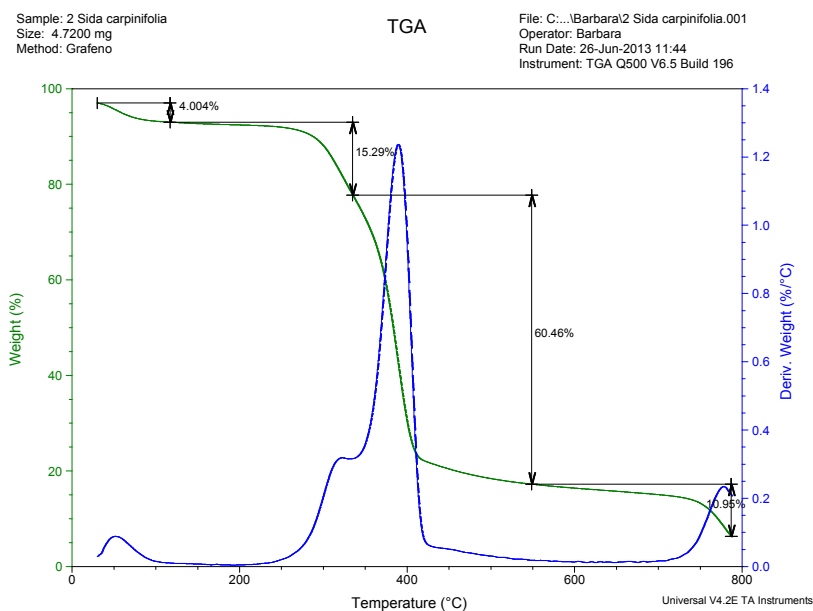


Figura VI.2. Ensaio realizado com a fibra em condição ambiente em *Thermogravimetric analyser* TGA Q500 (TA Instruments, EUA), 30-800°C, 30°C/min para *Sida carpinifolia* L.f.

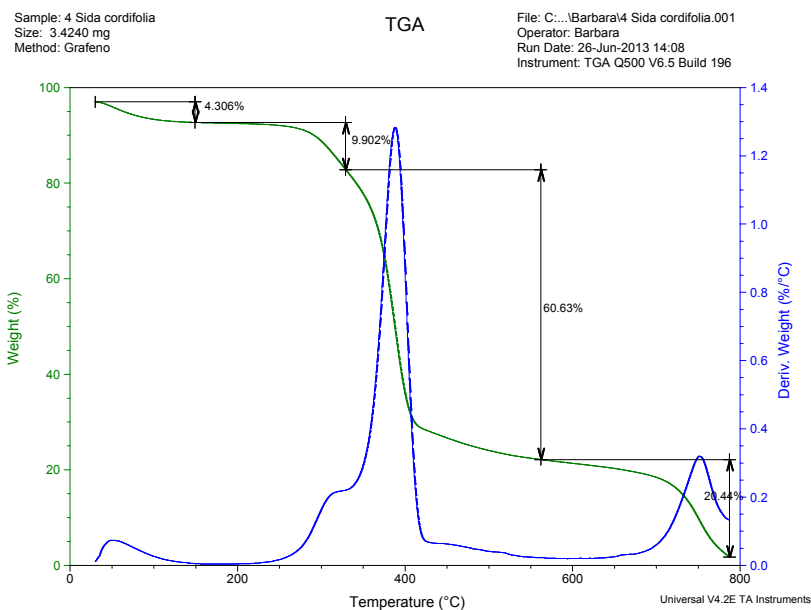


Figura VI.3. Ensaio realizado com a fibra em condição ambiente em *Thermogravimetric analyser* TGA Q500 (TA Instruments, EUA), 30-800°C, 30°C/min para *Sida cordifolia* L.

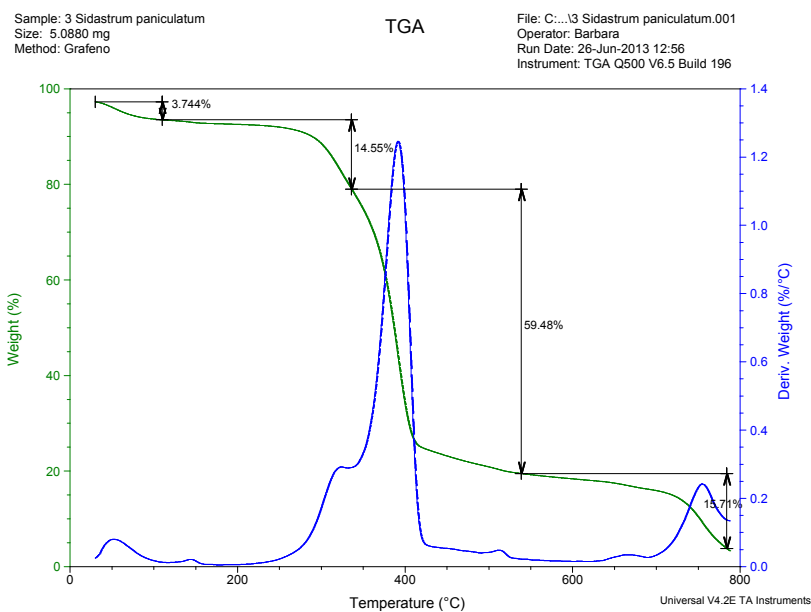


Figura VI.4. Ensaio realizado com a fibra em condição ambiente em *Thermogravimetric analyser* TGA Q500 (TA Instruments, EUA), 30-800°C, 30°C/min para *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell.

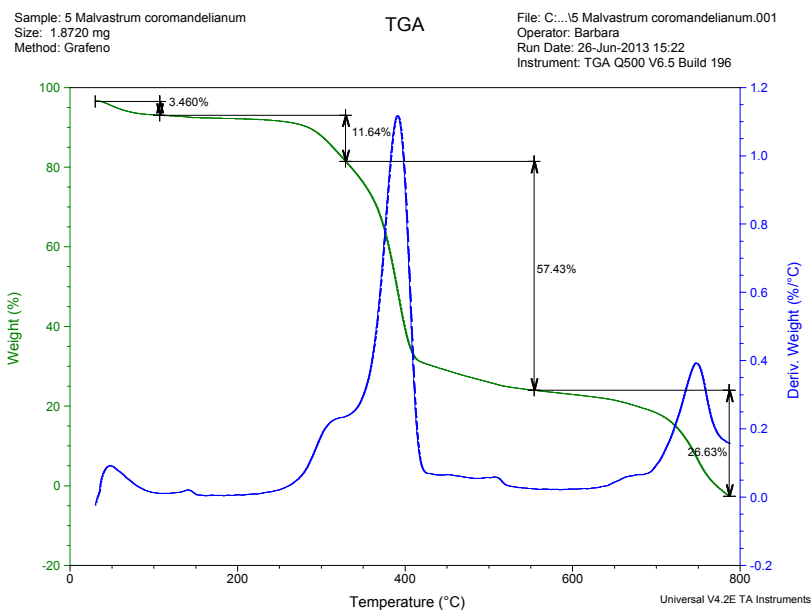


Figura VI.5. Ensaio realizado com a fibra em condição ambiente em *Thermogravimetric analyser* TGA Q500 (TA Instruments, EUA), 30-800°C, 30°C/min para *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck.

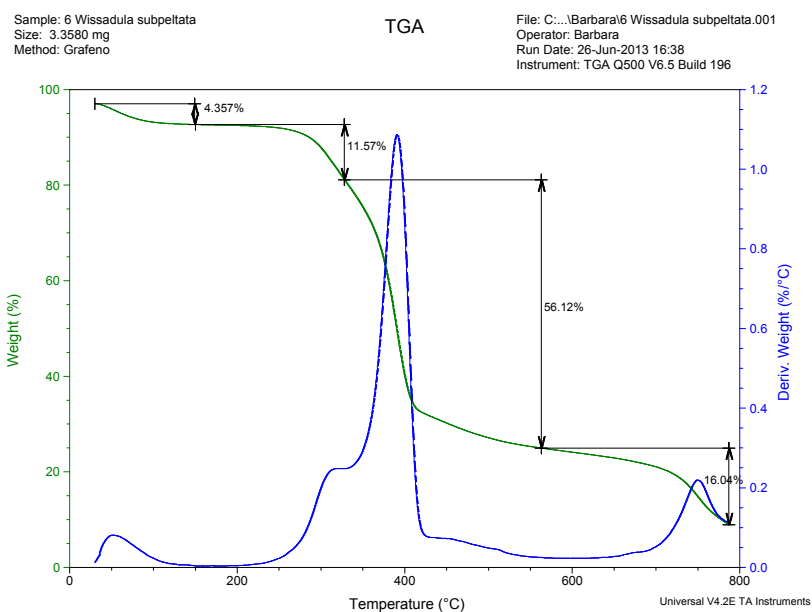


Figura VI.6. Ensaio realizado com a fibra em condição ambiente em *Thermogravimetric analyser* TGA Q500 (TA Instruments, EUA), 30-800°C, 30°C/min para *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries.

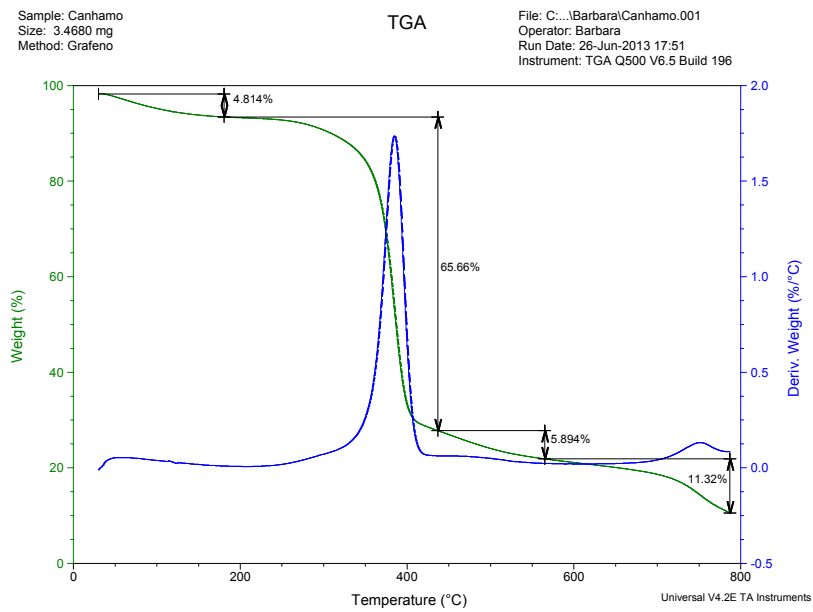


Figura VI.7. Ensaio realizado com a fibra em condição ambiente em *Thermogravimetric analyser* TGA Q500 (TA Instruments, EUA), 30-800°C, 30°C/min para *Cannabis sativa*.

Anexo VII. Gráficos de transmitância obtidos dos ensaios de *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) em aparelho FTIR-8400S (Shimadzu, Japão), com número de onda de 4000 a 500 cm^{-1} .

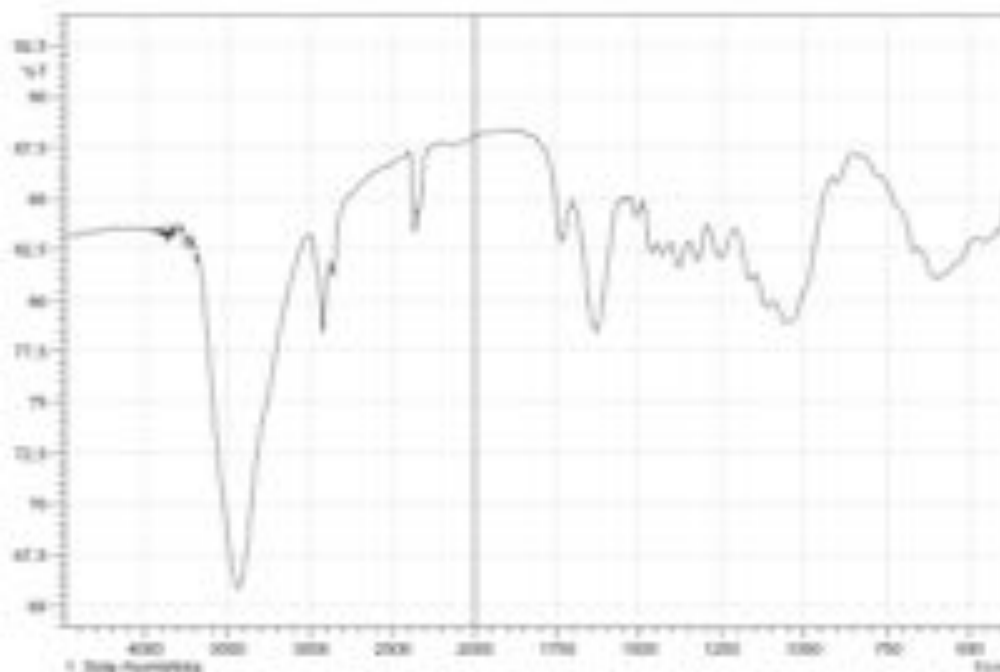


Figura VII.1. Gráfico FTIR de transmitância por número de onda (4000-500 cm^{-1}) empregando FTIR-8400S (Shimadzu, Japão) para *Sida rhombifolia* L.

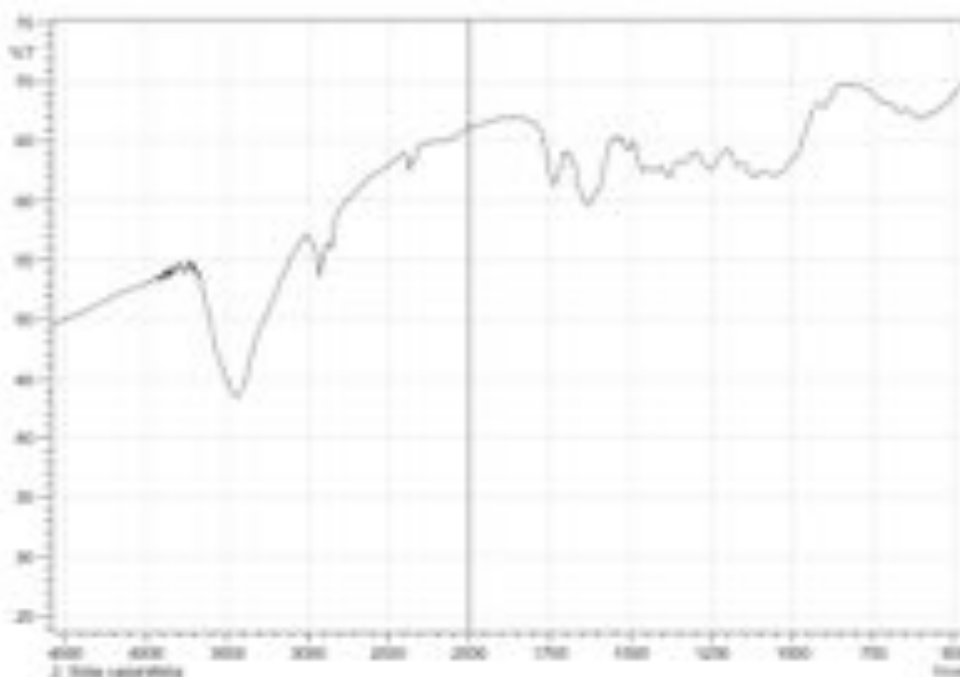


Figura VII.2. Gráfico FTIR de transmitância por número de onda (4000-500 cm^{-1}) empregando FTIR-8400S (Shimadzu, Japão) para *Sida carpinifolia* L. f.

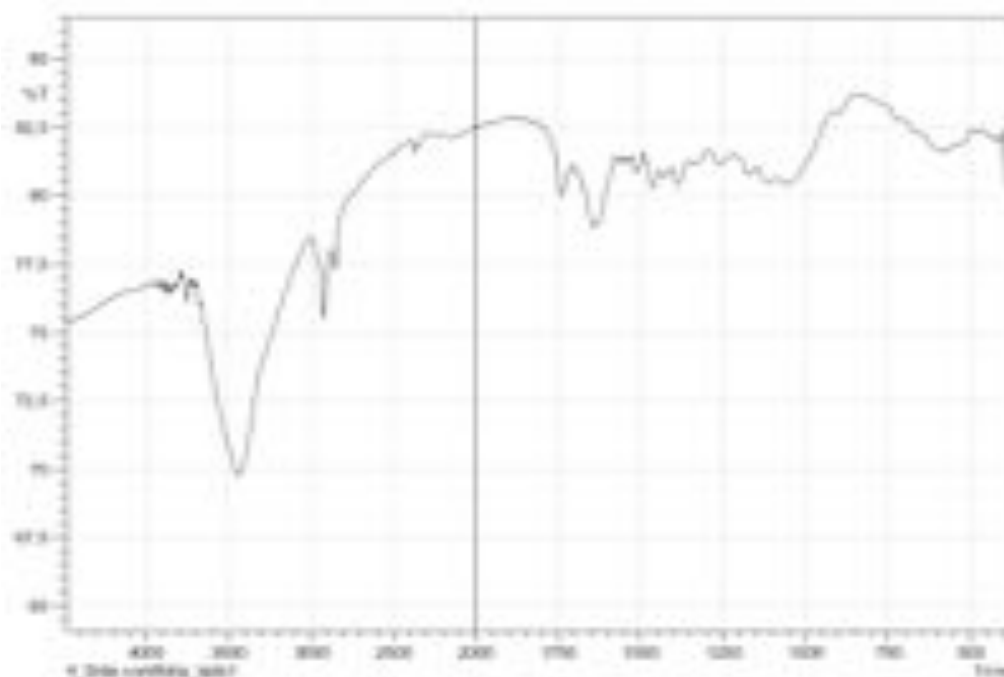


Figura VII.3. Gráfico FTIR de transmitância por número de onda ($4000\text{-}500\text{ cm}^{-1}$) empregando FTIR-8400S (Shimadzu, Japão) para *Sida cordifolia* L.

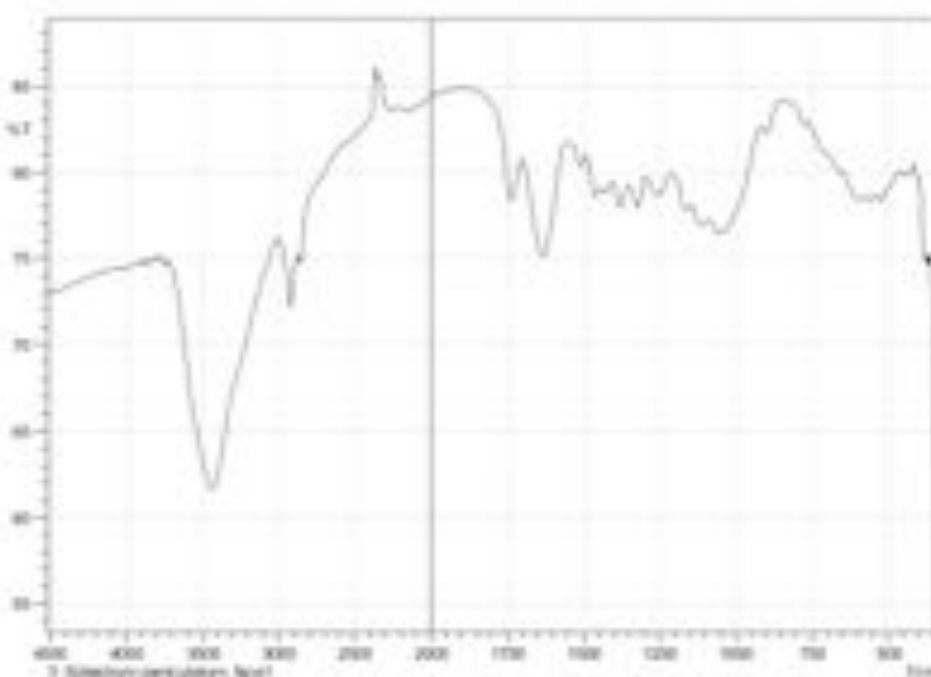


Figura VII.4. Gráfico FTIR de transmitância por número de onda ($4000\text{-}500\text{ cm}^{-1}$) empregando FTIR-8400S (Shimadzu, Japão) para *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell.

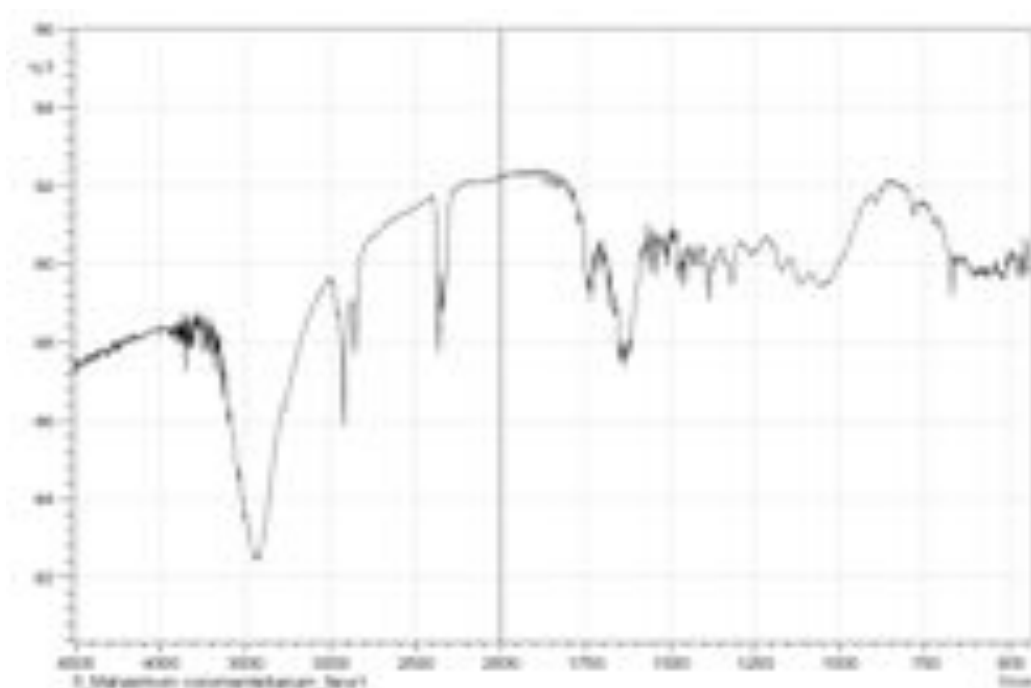


Figura VII.5. Gráfico FTIR de transmitância por número de onda ($4000\text{-}500\text{ cm}^{-1}$) empregando FTIR-8400S (Shimadzu, Japão) para *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck.

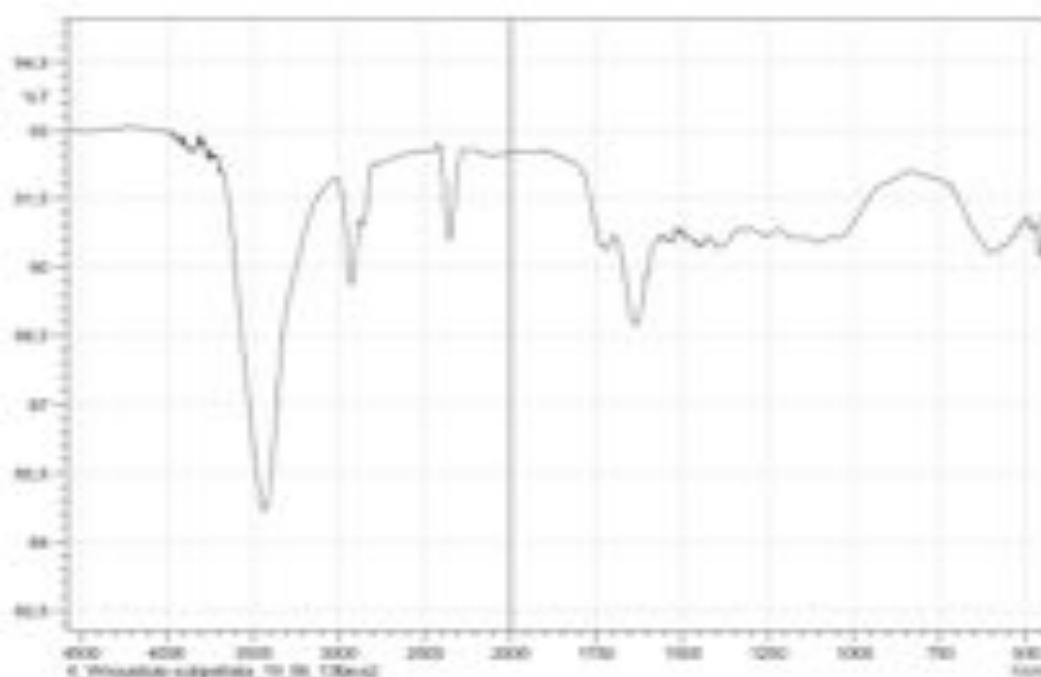


Figura VII.6. Gráfico FTIR de transmitância por número de onda ($4000\text{-}500\text{ cm}^{-1}$) empregando FTIR-8400S (Shimadzu, Japão) para *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries.

Anexo VIII. Efeito dos solventes orgânicos (0,1 g, condição ambiente, 24 h).

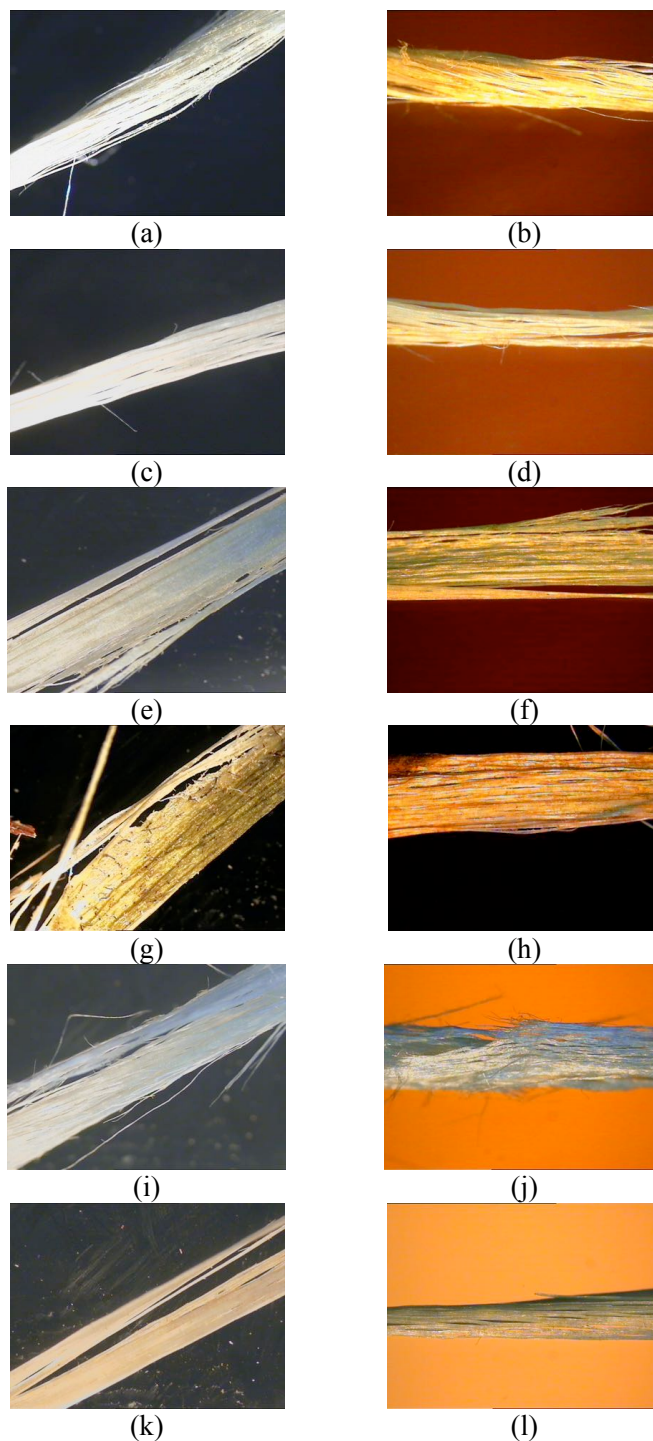


Figura VIII.1. Fibras antes (esquerda) e depois (direita) do teste com Varsol (Exxon, Brasil), aumento de 32X, 0,1 g de amostra, condição ambiente, 24 h.. (a), (b): *Sida rhombifolia* L.; (c), (d): *Sida carpinifolia* L. f.; (e), (f): *Sida cordifolia* L.; (g), (h): *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell; (i), (j): *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck; (k), (l): *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries.

Anexo IX. Efeito do ácido H_2SO_4 0,01N (0,1 g, condição ambiente, 60 min).

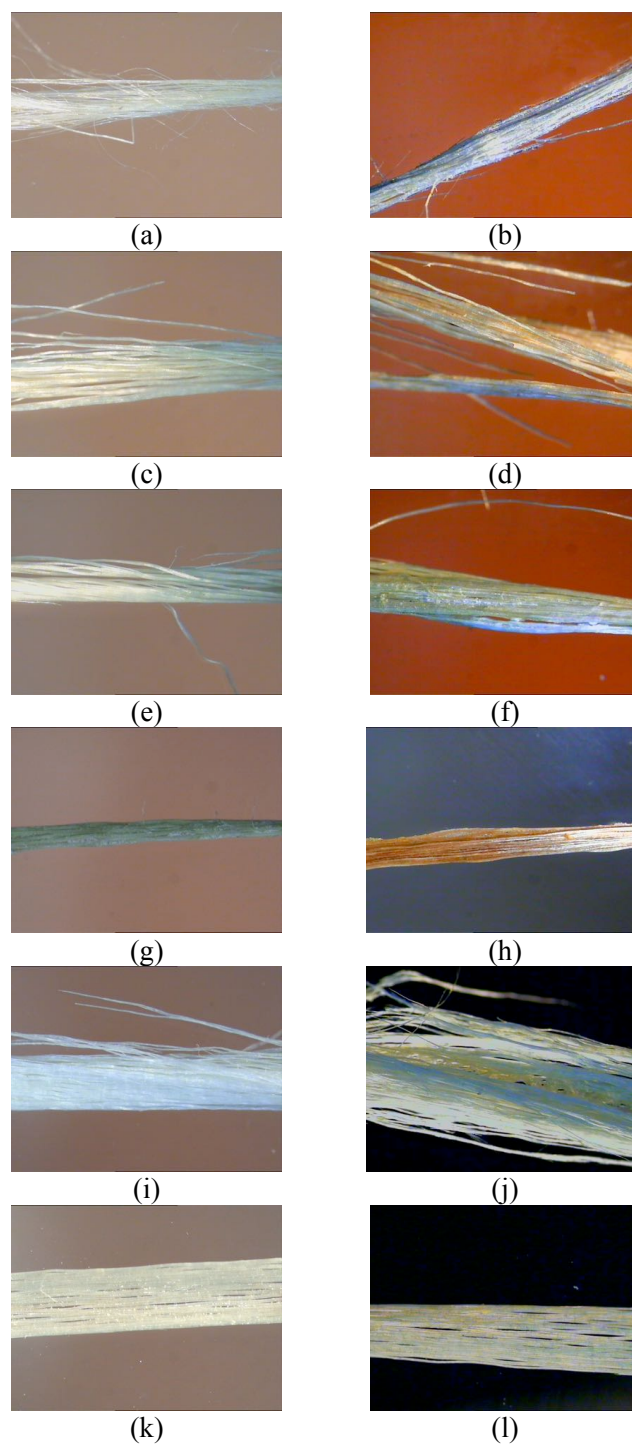


Figura IX.1. Fibras antes (esquerda) e depois (direita) do teste com H_2SO_4 0,01N, aumento de 32X, 0,1 g de amostra, condição ambiente, 60 min. (a), (b): *Sida rhombifolia* L.; (c), (d): *Sida carpinifolia* L. f.; (e), (f): *Sida cordifolia* L.; (g), (h): *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell; (i), (j): *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck; (k), (l): *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries.

Anexo X. Efeito do ácido H_2SO_4 0,1N (0,1 g; condição ambiente, 60 min).

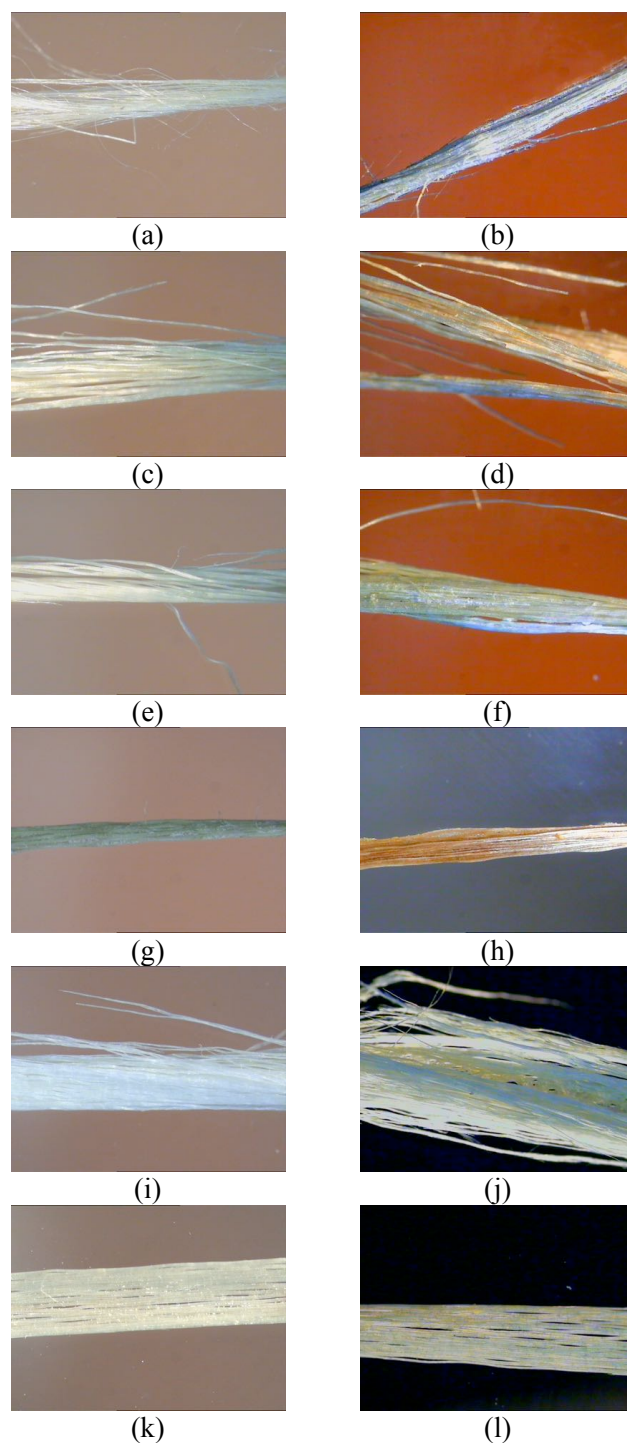


Figura X.1. Fibras antes (esquerda) e depois (direita) do teste com H_2SO_4 0,1N, aumento de 32X, 0,1 g de amostra, condição ambiente, 60 min. (a), (b): *Sida rhombifolia* L.; (c), (d): *Sida carpinifolia* L. f.; (e), (f): *Sida cordifolia* L.; (g), (h): *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell; (i), (j): *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck; (k), (l): *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries.

Anexo XI. Efeito do álcali NaOH 1N (0,1 g; condição ambiente, 60 min).

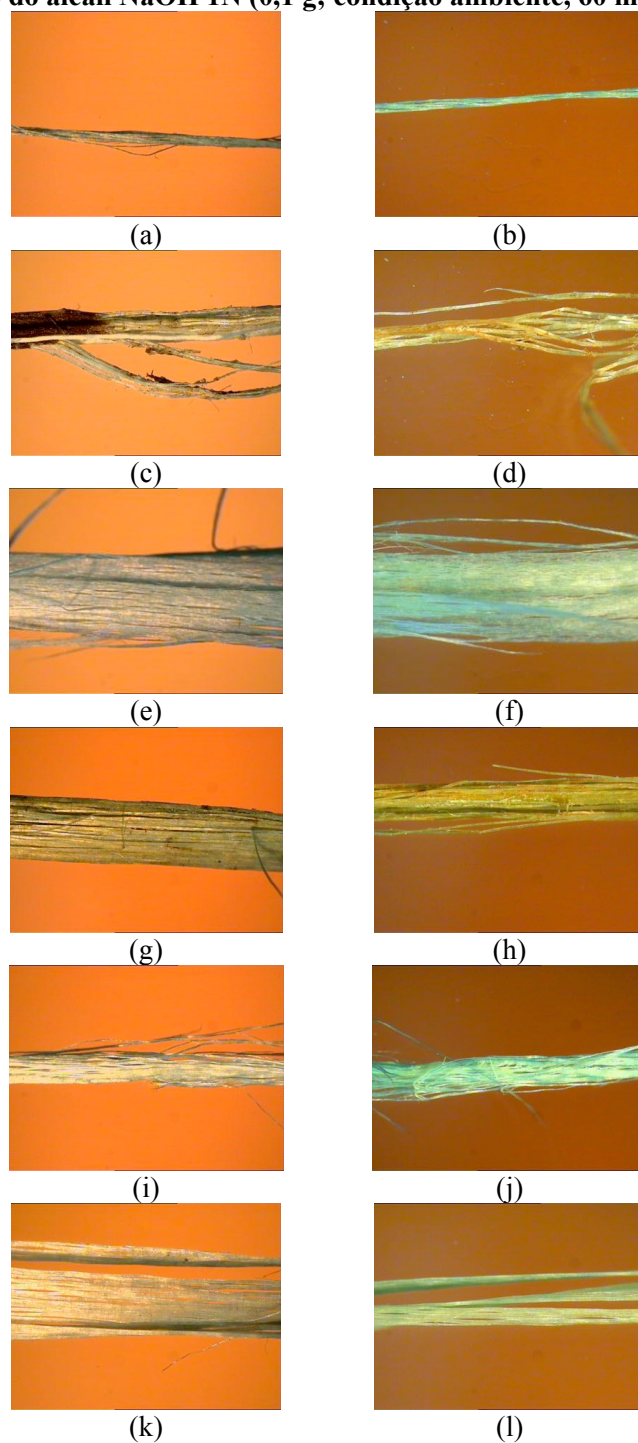


Figura XI.1. Fibras antes (esquerda) e depois (direita) do teste com NaOH 1N, aumento de 32X, 0,1 g de amostra, condição ambiente, 60 min. (a), (b): *Sida rhombifolia* L.; (c), (d): *Sida carpinifolia* L. f.; (e), (f): *Sida cordifolia* L.; (g), (h): *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell; (i), (j): *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck; (k), (l): *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries.

Anexo XII. Efeito do álcali NaOH 7,5N (0,1 g; condição ambiente, 20 min).

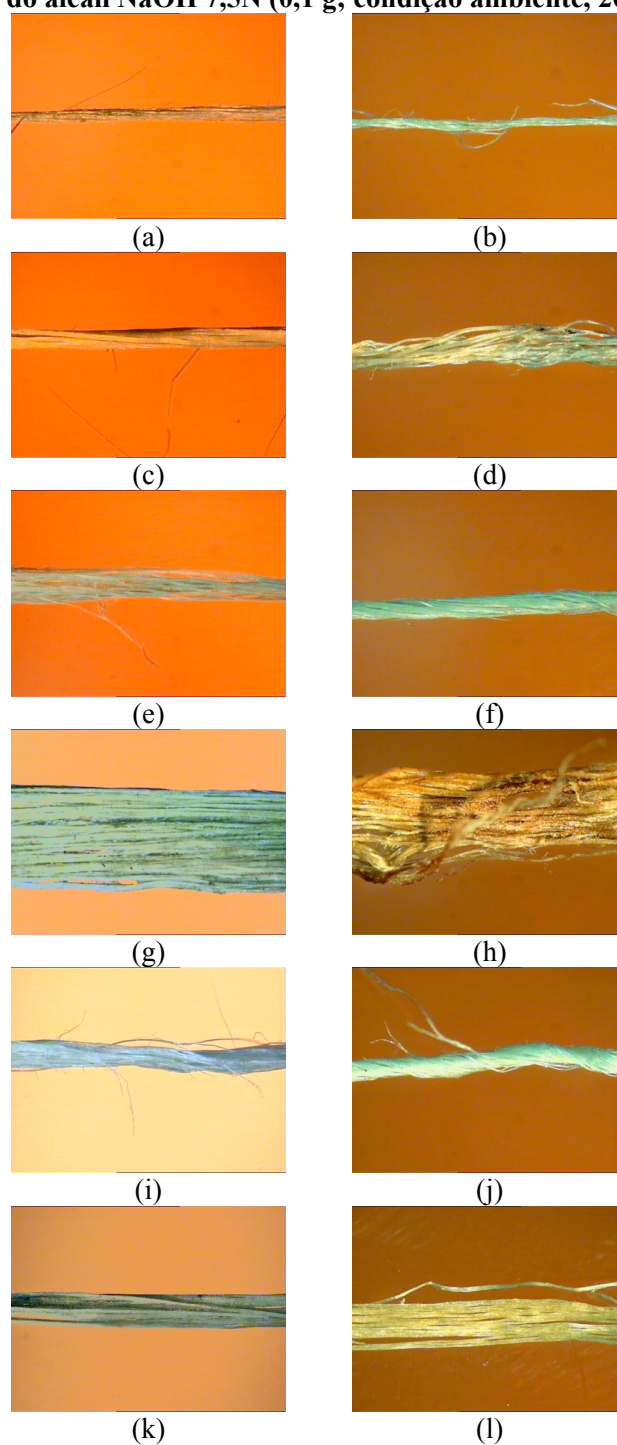


Figura XII.1. Fibras antes (esquerda) e depois (direita) do teste com NaOH 7,5N, aumento de 32X, 0,1 g de amostra, condição ambiente, 60 min. (a), (b): *Sida rhombifolia* L.; (c), (d): *Sida carpinifolia* L. f.; (e), (f): *Sida cordifolia* L.; (g), (h): *Sidastrum paniculatum* (L.) Fryxell; (i), (j): *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gurck; (k), (l): *Wissadula subpeltata* (Kuntze) R. E. Fries.