



**ALESSANDRA DE SOUZA FONSECA**

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS  
FIBRAS DO ESTIPE DE *Desmoncus polyacanthos*  
Mart.**

**LAVRAS – MG  
2012**

**ALESSANDRA DE SOUZA FONSECA**

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS FIBRAS DO ESTIPE DE  
*Desmoncus polyacanthos Mart.***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Madeira como Matéria-Prima, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Fábio Akira Mori

Coorientadores

Dra. Ires Paula de Andrade Miranda

Dr. Edelcílio Marques Barbosa

**LAVRAS - MG**

**2012**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Fonseca, Alessandra de Souza.

Caracterização tecnológica das fibras do estirpe de *Desmoncus polyacanthos* Mart. / Alessandra de Souza Fonseca. – Lavras : UFLA, 2012.

116 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Fábio Akira Mori.

Bibliografia.

1. Jacitara. 2. Arecaceae. 3. Fibras vegetais. 4. Caracterização. 5. Produtos florestais não lenhosos. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.1

**ALESSANDRA DE SOUZA FONSECA**

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS FIBRAS DO ESTIPE DE**  
*Desmoncus polyacanthos Mart.*

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Madeira como Matéria-Prima, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2012

|                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| Dr. Gustavo Henrique Denzin Tonoli | UFLA    |
| Dr. José Manoel Marconcini         | EMBRAPA |
| Dra. Ires Paula de Andrade Miranda | INPA    |
| Dr. Edelcílio Marques Barbosa      | INPA    |

Dr. Fábio Akira Mori  
Orientador

**LAVRAS - MG**  
**2012**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as conquistas que me permitiu vivenciar. Pela capacidade racional, força, saúde, amor, família e amigos que tenho.

Aos meus pais, Mário Antônio e Ercimor, por terem me gerado, criado e educado e ao meu irmão, Marco Antônio, pela vida em família que construímos ao longo dos anos.

Ao Newton Coelho Monteiro pelo auxílio durante a coleta do material, além de todo apoio, estímulo, força, paciência, compreensão, amor e carinho ofertados, incondicionalmente.

Agradeço, *In memoriam*, ao Professor Valmir Souza de Oliveira, pelo exemplo de ética e de profissionalismo. Por me apresentar à área de Tecnologia de Produtos Florestais e por todo ensinamento repassado nos anos que convivemos juntos.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Ciência e Tecnologia da Madeira, pela oportunidade de me capacitar profissionalmente.

A todos os funcionários do Departamento de Ciências Florestais, em especial, a Cristiane Carvalho e Claret Matos por toda boa vontade em ajudar sempre.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira pela capacitação profissional.

Ao professor Fábio Akira Mori, por toda orientação ao longo do desenvolvimento da pesquisa. Pelas críticas, sugestões e paciência. Todo o meu respeito e gratidão.

Aos professores Paulo Fernando Trugilho e Gustavo Henrique Denzin Tonoli, pelo suporte técnico, estímulo, paciência, atenção e dedicação. Registro aqui minha admiração, respeito, gratidão e amizade.

Ao Governo do Estado do Amazonas, à Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Centro Estadual de Unidades de Conservação, pela autorização de acessar a Área de Proteção Ambiental da Margem Direita do Rio Negro.

À Fundação Vitória Amazônica e à Associação dos Artesãos de Novo Airão – AM, pelo suporte técnico e logístico durante a coleta do material.

Ao professor Holmer Savastano Júnior e a toda equipe do laboratório de Construções e Ambiente da Universidade de São Paulo, Campus Pirassununga – SP, pela oportunidade de realizar a caracterização física e mecânica das fibras.

Ao Thiago de Paula Protásio, por toda ajuda e paciência durante a realização da análise estatística e interpretação dos resultados.

Ao Jessé Soares, por toda ajuda ofertada e pelo conhecimento compartilhado.

Aos colegas de Pós-Graduação Allan Couto, Alessandra Ribeiro, Isabel Alves e Tattiane Costa, pela colaboração técnica ao longo do trabalho.

A todos os amigos que conheci durante o período do Mestrado e em especial aos amigos Cláudia Urbinati, Carol Sartori, Cassiana Alves, Jeimy Floréz, Pedro Sartori, Polliana Rios, Mara Valle, Murilo Tosta, Sabrina Yamashita, Simonne Sampaio, Tatiana Arruda e Thiago Gontijo pelos bons momentos vividos em Lavras.

Ao companheiro e amigo de jornada Jonnys Castro, pelo auxílio no desenvolvimento da pesquisa, paciência, compreensão, amizade e parceria no dia a dia.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para esta conquista, e que, por falha de minha parte, não foram citados, a minha eterna gratidão!

## RESUMO

No mundo, as fibras vegetais são empregadas em diferentes segmentos da indústria primária, secundária e terciária abrangendo desde a produção de polpa celulósica até a fabricação de artesanatos e cordoarias. A jacitara (*Desmoncus polyacanthos* Mart.), uma representante da família Arecaceae, de hábito escandente, fornece fibras de excelente característica e aspecto, que são muito utilizadas pelos artesãos amazonenses da região da Bacia do Rio Negro. Sobre essa matéria-prima, há falta de informações técnicas generalizadas. O objetivo do trabalho foi realizar a caracterização tecnológica das fibras presentes no estipe dessa palmeira. Para a caracterização anatômica, foi realizado estudo de sua estrutura microscópica e ultraestrutural. Para a caracterização química, foram determinados seus constituintes estruturais (celulose, hemiceluloses e lignina) e menores (extrativos totais e cinzas). Nas caracterizações física e mecânica, determinaram-se a densidade real, a perda de massa (Termogravimetria –TG) e as propriedades de resistência à tração paralela às fibras e módulo de elasticidade. A estrutura anatômica da jacitara correspondeu ao padrão organizacional das monocotiledôneas. Os valores de ângulo microfibrilar das fibras (12,83 a 16,47°) estão inseridos no intervalo apresentado por coníferas (10 a 30°) e folhosas (5 a 20°). Do ponto de vista anatômico, os parâmetros coeficiente de rigidez, fração parede e índice de Runkel apresentaram resultados negativos a sua utilização na fabricação de papel, mas, que podem ser potenciais a sua aplicação como reforço em compósitos. Os teores médios dos componentes químicos estruturais celulose, hemiceluloses e lignina e dos componentes químicos menores extrativos totais e componentes minerais foram 66,88%; 18,44%; 14,68%; 11,59% e 1,79%, respectivamente. Os tratamentos avaliados apresentaram valores de densidade real inseridos no intervalo de 1,54 a 1,94 g/cm<sup>3</sup>. As fibras dos tratamentos base e meio apresentaram maiores valores de módulo de elasticidade e resistência à tração paralela. No intervalo de 120 a 180°C, houve reduzida perda de massa. Com base nos resultados, pode-se pressupor que a palmeira amazônica jacitara apresenta possibilidade de utilização similar às espécies comercialmente exploradas pelo mercado mundial de fibras vegetais. Devem ser realizados estudos específicos que confirmem sua potencialidade como reforço de compósitos bem como os que favoreçam sua utilização na produção de papel e em outras formas de uso comuns às fibras vegetais.

Palavras-chave: Caracterização de fibras vegetais. Produtos florestais não lenhosos. Jacitara. Arecaceae.

## ABSTRACT

In the world, plant fibers are used in different segments of the primary, secondary and tertiary industry ranging cellulose pulp production to the handicrafts manufacture and ropes. Jacitara (*Desmoncus polyacanthos* Mart.), a representative Arecaceae family, scandent habit, provides excellent fiber characteristics and appearance, that are heavily used by craftsmen Amazon of the Rio Negro basin region. About this raw material, there is widespread lack of technical information. The objective of this study was to perform the technological characterization of fiber presents in the stem of the palm tree.

For anatomical characterization was conducted a study from its microscopic structure and ultrastructure. For the chemical characterization were determined their structural components (cellulose, hemicellulose and lignin) and minor (total extractives and ash). In physics and mechanical characterizations, it was determined the real density, loss mass (Thermogravimetry-TGA) and the properties of tensile strength parallel to the fibers and modulus of elasticity.

The jacitara anatomical structure corresponded the organizational pattern of the monocotyledons. The angle values of fibers microfibrillar (12.83 to 16, 47°) are inserted in the range presented by conifers (10 to 30°) and broadleaf (5 to 20°).

From the anatomical viewpoint, the stiffness coefficient parameters, wall fraction and Runkel ratio had negative results for their use in papermaking, but can be potential to its application as reinforcement in composites. The average levels of the chemical structural components cellulose, hemicellulose and lignin and minor chemical components total extractives and mineral components were 66.88%, 18.44%, 14.68%, 11.59% and 1.79% respectively. The treatments had real density values inserted in the range 1.54 to 1.94 g/cm<sup>3</sup>. The fibers of the base and middle treatments showed higher modulus elasticity values and resistance to parallel strength. In the range 120-180°C, there was reduced loss mass. Based on the results, it can be assumed that the Amazonian palm tree Jacitara presents the possibility similar using to commercially species exploited by the world market of vegetable fibers. Specific studies should be performed to confirm its potential as reinforcement in composites as well as to encourage its use in paper production and other forms of common use to vegetable fibers.

Keywords: Vegetable fibers characterization. Non-wood forest products. Jacitara. Arecaceae.

## LISTA DE FIGURAS

|           |                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1  | Morfologia externa da jacitara ( <i>D. polyacanthos</i> Mart.) .....                                                                                                                          | 21 |
| Figura 2  | Prancha ilustrativa evidenciando as diferenças morfológicas entre os gêneros <i>Desmoncus</i> e <i>Calamus</i> , Arecaceae. ....                                                              | 22 |
| Figura 3  | Esquema ilustrativo da organização das unidades fundamentais da parede celular. 1: célula individual; 2: feixes de microfibrilas; 3: microfibrila; 4: molécula de celulose; 5: celobiose..... | 25 |
| Figura 4  | Feixes fibrovasculares em caule de monocotiledônea. P: parênquima; PX: protoxilema; MX: metaxilema; FL: floema. Seta indica as fibras. Barra equivale a 100µm .....                           | 27 |
| Figura 5  | Esquema representativo da organização da parede celular vegetal .....                                                                                                                         | 31 |
| Figura 6  | Mapa da área de coleta dos estipes de jacitara. As cores amarelo, azul e vermelho indicam a localização das diferentes touceiras .....                                                        | 39 |
| Figura 7  | Coleta e limpeza dos estipes de jacitara .....                                                                                                                                                | 40 |
| Figura 8  | Identificação e armazenamento dos estipes coletados.....                                                                                                                                      | 40 |
| Figura 9  | Metodologia de Amostragem.....                                                                                                                                                                | 41 |
| Figura 10 | Dimensões dos estipes de jacitara utilizados na obtenção de serragem.....                                                                                                                     | 48 |
| Figura 11 | Esquema representativo da amostragem realizada para o estudo físico-mecânico .....                                                                                                            | 51 |

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 12 | Esquema representativo da obtenção das amostras utilizadas no ensaio mecânico e na determinação da densidade real das fibras.....                                                                                                                                                | 52 |
| Figura 13 | Esquema representativo da porta-amostra e suas respectivas dimensões.....                                                                                                                                                                                                        | 53 |
| Figura 14 | Montagem do corpo de prova. A: fibra depositada sobre o porta-amostra; B: primeira fração de papel sendo depositada sobre a fibra; C: corpo de prova a ser ensaiado. Barra corresponde a 3 cm.....                                                                               | 53 |
| Figura 15 | Mensurações realizadas nas amostras de fibras de jacitara, necessárias ao cálculo da área de sua secção transversal. ....                                                                                                                                                        | 54 |
| Figura 16 | Ensaio de tração paralela às fibras em andamento. Barra corresponde a 2 cm.....                                                                                                                                                                                                  | 55 |
| Figura 17 | Aparelho utilizado na determinação da densidade real das fibras.....                                                                                                                                                                                                             | 57 |
| Figura 18 | Representação gráfica da variação dos parâmetros anatômicos ao longo do estipe de jacitara .....                                                                                                                                                                                 | 65 |
| Figura 19 | Visão geral do estipe de jacitara, em seção transversal, utilizando microscópio de luz. Barra equivale a 100 $\mu\text{m}$ .....                                                                                                                                                 | 77 |
| Figura 20 | Feixes vasculares em seção transversal. A,C: feixes maduros, localizados próximo a periferia do cilindro. B,D: feixes jovens, localizados no centro do cilindro. F: fibras; Fl: floema; MX: metaxilema. As setas indicam o protoxilema. Barra equivale a 100 $\mu\text{m}$ ..... | 80 |

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Figura 21 | Elementos de vaso. Em microscopia de luz: A e B. Em microscopia eletrônica de varredura, C. Em A, placas de perfuração escalariforme. Em B, vasos com diferentes dimensões. Em C, pontoações. PF: placa de perfuração; V: vaso; F: fibra; P: parênquima ..... 81                            |
| Figura 22 | Seção transversal do estipe. A,C: cortes histológicos corados com safrablau. B,D: cortes histológicos <i>in natura</i> . A,B: Feixes externos. C,D: Feixes internos. As setas indicam fibras isoladas, circundadas por células parenquimáticas. Barra equivale a 100 $\mu\text{m}$ ..... 83 |
| Figura 23 | Estipe, em seção transversal, evidenciando a faixa fibrosa com coloração natural, em cortes histológicos <i>in natura</i> ..... 84                                                                                                                                                          |
| Figura 24 | Curvas de tensão x deformação dos tratamentos testados..... 90                                                                                                                                                                                                                              |
| Figura 25 | Curva termogravimétrica obtida para as fibras do estipe de jacitara, em atmosfera de nitrogênio. .... 99                                                                                                                                                                                    |

## LISTA DE TABELAS

|           |                                                                                                                                       |    |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1  | Coordenadas geográficas das touceiras de jacitara .....                                                                               | 38 |
| Tabela 2  | Comprimento aproveitável e diâmetro amostrado em diferentes proporções ao longo do estipe .....                                       | 61 |
| Tabela 3  | Estatísticas descritivas e testes de comparação múltipla para as diferentes variáveis anatômicas analisadas .....                     | 63 |
| Tabela 4  | Resumo das análises de variância realizadas para as variáveis anatômicas em estudo.....                                               | 66 |
| Tabela 5  | Valores de referência dos parâmetros anatômicos em estudo .....                                                                       | 71 |
| Tabela 6  | Estatísticas descritivas e teste de comparação múltipla para o ângulo microfibrilar, de <i>D. polyacanthos</i> Mart. ....             | 73 |
| Tabela 7  | Valores de correlação entre o ângulo microfibrilar e dimensões anatômicas das fibras de jacitara .....                                | 74 |
| Tabela 8  | Estatística descritiva da composição química estrutural das fibras de jacitara, em material seco, livre de extrativos .....           | 85 |
| Tabela 9  | Valores de referência para a análise química básica dos componentes fundamentais .....                                                | 87 |
| Tabela 10 | Estatística descritiva dos constituintes químicos menores das fibras de jacitara .....                                                | 88 |
| Tabela 11 | Valores de referência para a análise química básica dos constituintes menores .....                                                   | 88 |
| Tabela 12 | Estatísticas descritivas e testes de comparação múltipla para as diferentes variáveis mecânicas analisadas na fibra de jacitara ..... | 92 |

|           |                                                                                                   |    |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 13 | Valores de referência da resistência à tração, módulo de elasticidade e densidade real. ....      | 93 |
| Tabela 14 | Coefficientes de correlação obtidos para variáveis mecânicas e variáveis anatômicas .....         | 94 |
| Tabela 15 | Coefficientes de correlação obtidos para o módulo de elasticidade e variáveis anatômicas.....     | 95 |
| Tabela 16 | Estatísticas descritivas e teste de comparação múltipla para a variável densidade real .....      | 95 |
| Tabela 17 | Coefficientes de correlação obtidos para a densidade real, variáveis anatômicas e mecânicas ..... | 97 |

## SUMÁRIO

|              |                                                            |           |
|--------------|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                     | <b>15</b> |
| <b>2</b>     | <b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                            | <b>17</b> |
| <b>2.1</b>   | <b>Família Arecaceae.....</b>                              | <b>17</b> |
| <b>2.2</b>   | <b>Jacitara .....</b>                                      | <b>20</b> |
| <b>2.3</b>   | <b>Fibras vegetais.....</b>                                | <b>24</b> |
| <b>2.4</b>   | <b>Fibras de gramíneas.....</b>                            | <b>26</b> |
| <b>2.5</b>   | <b>Caracterização tecnológica de fibras vegetais .....</b> | <b>29</b> |
| <b>2.5.1</b> | <b>Propriedades anatômicas .....</b>                       | <b>30</b> |
| <b>2.5.2</b> | <b>Propriedades físicas e mecânicas .....</b>              | <b>34</b> |
| <b>2.5.3</b> | <b>Propriedades químicas .....</b>                         | <b>35</b> |
| <b>2.5.4</b> | <b>Termogravimetria.....</b>                               | <b>36</b> |
| <b>3</b>     | <b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                            | <b>38</b> |
| <b>3.1</b>   | <b>Descrição da área de coleta .....</b>                   | <b>38</b> |
| <b>3.2</b>   | <b>Caracterização anatômica.....</b>                       | <b>41</b> |
| <b>3.2.1</b> | <b>Análise dos dados .....</b>                             | <b>44</b> |
| <b>3.3</b>   | <b>Ângulo microfibrilar.....</b>                           | <b>46</b> |
| <b>3.3.1</b> | <b>Análise dos dados .....</b>                             | <b>47</b> |
| <b>3.4</b>   | <b>Análises químicas .....</b>                             | <b>48</b> |
| <b>3.4.1</b> | <b>Preparo das amostras .....</b>                          | <b>48</b> |
| <b>3.4.2</b> | <b>Constituintes químicos.....</b>                         | <b>49</b> |
| <b>3.5</b>   | <b>Caracterização física e mecânica .....</b>              | <b>50</b> |
| <b>3.5.1</b> | <b>Preparo das amostras .....</b>                          | <b>50</b> |
| <b>3.5.2</b> | <b>Ensaio de tração paralela às fibras.....</b>            | <b>52</b> |
| <b>3.5.3</b> | <b>Densidade real .....</b>                                | <b>56</b> |
| <b>3.5.4</b> | <b>Análise dos dados .....</b>                             | <b>59</b> |
| <b>3.5.5</b> | <b>Termogravimetria.....</b>                               | <b>60</b> |

|              |                                                                             |            |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4</b>     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                         | <b>61</b>  |
| <b>4.1</b>   | <b>Anatomia quantitativa.....</b>                                           | <b>61</b>  |
| <b>4.1.1</b> | <b>Dimensões das fibras.....</b>                                            | <b>63</b>  |
| <b>4.1.2</b> | <b>Ângulo microfibrilar.....</b>                                            | <b>72</b>  |
| <b>4.2</b>   | <b>Anatomia descritiva .....</b>                                            | <b>76</b>  |
| <b>4.2.1</b> | <b>Lâminas histológicas.....</b>                                            | <b>76</b>  |
| <b>4.3</b>   | <b>Composição química .....</b>                                             | <b>85</b>  |
| <b>4.3.1</b> | <b>Constituintes estruturais .....</b>                                      | <b>85</b>  |
| <b>4.3.2</b> | <b>Constituintes menores .....</b>                                          | <b>88</b>  |
| <b>4.4</b>   | <b>Propriedades físicas e mecânicas .....</b>                               | <b>89</b>  |
| <b>4.4.1</b> | <b>Resistência à tração paralela às fibras e módulo de elasticidade....</b> | <b>89</b>  |
| <b>4.4.2</b> | <b>Densidade real .....</b>                                                 | <b>95</b>  |
| <b>4.4.3</b> | <b>Termogravimetria.....</b>                                                | <b>99</b>  |
| <b>5</b>     | <b>CONCLUSÃO .....</b>                                                      | <b>101</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                     | <b>103</b> |
|              | <b>ANEXOS.....</b>                                                          | <b>113</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A Amazônia abriga potencialidades naturais que, dispostas de maneira responsável, certamente induzirão ao desenvolvimento regional de forma sustentável. Entretanto, ainda é pouco significativo o peso do setor florestal não madeireiro na macroeconomia regional.

As fibras vegetais apresentam grande importância no cotidiano de muitas famílias de países em desenvolvimento, como também no processo industrial de países desenvolvidos e em desenvolvimento, como é o caso do Brasil que utiliza as fibras curtas obtidas da madeira de *Eucalyptus* para produção de pasta de celulose, para fabricação de papel.

O interesse na utilização de fibras vegetais por diferentes segmentos da indústria é crescente, assim como a demanda por novas fontes de fibras naturais. Atualmente, a Europa se destaca como o maior mercado consumidor de fibras vegetais, principalmente às de origem não lenhosa, para confecção de compósitos de diversas finalidades, que abrangem desde a construção civil até a indústria automobilística.

No Estado do Amazonas, as fibras vegetais de origem não lenhosa são muito utilizadas para confecção de artefatos e utensílios domésticos utilizados nas atividades diárias do cotidiano rural. Muitas famílias amazônicas, que vivem ao longo da Bacia do Rio Negro, complementam sua renda com extrativismo de fibras vegetais.

A partir desse contexto, fibras de palmeiras amazônicas, ainda pouco estudadas no que diz respeito ao seu potencial tecnológico, podem se tornar importante matéria-prima alternativa para diversas finalidades.

Dentre as palmeiras nativas, a jacitara (*Desmoncus polyacanthos* Mart.), é considerada fonte potencial de matéria-prima fibrosa devido à utilização, de forma rústica, de suas fibras por índios, caboclos e ribeirinhos na região

amazônica que afirmam que, a resistência, associada à flexibilidade das fibras, tornam-na excelente matéria-prima para confecção de utensílios à base de fibras vegetais.

Segundo estudos prévios, a jacitara, possui morfologia e qualidade do caule, similar ao *rattan* asiático (*Calamus* spp.). Contudo, sobre essa palmeira, há falta generalizada de informações técnico-científicas.

O novo emprego dessa fibra poderá desempenhar grande importância na vida das pessoas que sobrevivem hoje de seu extrativismo. Para tanto, há necessidade de se promover pesquisas científicas que busquem a inovação de sua utilização.

Sendo assim, o estudo proposto prevê o estabelecimento de novas formas de aproveitamento de um recurso natural disponível na Amazônia, cujos resultados poderão ser aplicados na elaboração de uma política de integração social ao se agregar a utilização desse recurso para geração de emprego e renda para as comunidades rurais extrativistas.

Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar a composição anatômica e química, bem como certas propriedades físico-mecânicas das fibras presentes no estipe dessa palmeira, com vistas ao posterior uso, industrial ou semi-industrializado, mais adequado as suas características.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Família Arecaceae

A família das palmeiras é uma das maiores famílias de monocotiledôneas (HENDERSON, 2006). A classificação taxonômica dessa família abrange mais de 2000 espécies e cerca de 200 gêneros, sendo que, no Brasil, ocorrem 43 gêneros e, aproximadamente, 200 espécies (SOUZA; LORENZI, 2008).

Segundo o novo sistema de classificação (APG II), a família Arecaceae pertence à divisão *Magnoliophyta*, Classe *Euangiosperma*, *Commelinides*, mantendo-se como a única família da ordem *Arecales* (ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP - APG, 2003).

As palmeiras são de distribuição predominantemente pantropical. As espécies concentram-se na América e no Sudeste da Ásia e são normalmente muito abundantes nas terras baixas e em florestas úmidas (HENDERSON, 2006; LORENZI et al., 1996; SOUZA; LORENZI, 2008).

Constituem uma das famílias tropicais mais conhecidas, taxonomicamente, em relação à maioria das outras famílias de plantas tropicais com flores (TOMLINSON, 1990).

As palmeiras são consideradas as aristocratas do reino vegetal, sendo denominadas pelos botânicos de “Príncipes das florestas”, em decorrência do porte altaneiro e elegante que as destacam facilmente de outros vegetais (BONDAR, 1964; LORENZI et al., 1996).

Seus indivíduos são descritos como frequentemente arborescentes, com coroa terminal de grandes folhas; pecíolos com bainha e limbo expandido, dobrado; flores bem desenvolvidas e pequenas (ALVES; DEMATTÊ, 1987).

Tomlinson (1979) afirma que as palmeiras são um dos grupos, economicamente, mais importantes de plantas tropicais por constituírem uma

importante fonte de alimento e matéria-prima, mas que ainda permanecem sub-exploradas pelo homem. E, provavelmente, constituem a família mais importante de plantas nativas exploradas pelo homem na Amazônia (GOULDING; SMITH, 2007).

Devido à importância econômica, bem como por causa de sua abundância em ecossistemas tropicais, as palmeiras têm recebido muita atenção dos botânicos (TOMLINSON, 1990). Vários aspectos da família têm sido extensivamente estudados, como sistemática, biologia reprodutiva, uso econômico e biogeografia. No entanto, alguns aspectos importantes da biologia de palmeiras continuam a ser investigados (HENDERSON, 2006).

A palmeira é um organismo intrinsecamente autorregulado. É uma estrutura de engenharia construída continuamente, acrescentando apêndices de dimensões fixas a um eixo central (TOMLINSON, 1990). Em seu plano de construção, as palmeiras assemelham-se ao crescimento fechado da maioria dos animais (unitário) ao invés do crescimento aberto da maioria das plantas (modular). As unidades são fixas, mas repetidas continuamente (TOMLINSON, 2006).

O estipe das palmeiras é sempre lenhoso, mas sua consistência não é comparável às dicotiledôneas lenhosas. Depende da abundância de esclerênquima e fibras que são muito duras e da presença ou não de sílica (MOORE; UHL, 1982 apud ALVES; DEMATTÊ, 1987).

Segundo Tomlinson (1990), as palmeiras apresentam caules autossustentáveis sem ramificações aéreas. Se o hábito for escandente, apresentam estruturas modificadas que auxiliam no processo de ascensão ao dossel florestal.

No estipe das palmeiras são encontrados feixes vasculares do tipo colateral, em número de 1-2, associados a vasos largos no metaxilema. Células isodiamétricas com paredes de espessuras desiguais, conhecidas como

estegmatas, ocorrem longitudinalmente e incluem um corpo de sílica, estando localizadas ao lado de fibras em todas as partes da planta, exceto nas raízes (TOMLINSON, 1990).

O caule de palmeira, como em todos os eixos de lenhosas eretas, serve às funções de transporte e armazenamento de nutrientes e suporte mecânico. As três funções são claramente separadas na diferenciação entre diferentes tipos de tecidos do caule visíveis microscopicamente, em seção transversal (TOMLINSON, 1990).

Os feixes fibrovasculares individuais representam um sistema combinado de condução e suporte. Entretanto, as fibras são claramente separadas das células de condução do xilema e floema (TOMLINSON, 1990).

As palmeiras escandentes apresentam disposição mais homogênea de feixes fibrovasculares com córtex estreito (ALVES; DEMATTÊ, 1987).

O tecido parenquimatoso fundamental representa, não somente o tecido de armazenamento, mas a matriz, dentro do qual o sistema fibrovascular está inserido (TOMLINSON, 1990).

Em termos de estudo biomecânico, as palmeiras são descritas como mecanicamente eficientes (TOMLINSON, 2006). Contudo, a função mecânica de seus eixos eretos depende da distribuição eficiente de tecido esclerenquimático (TOMLINSON, 1990).

A maior diferença entre muitas palmeiras e vegetais arborescentes é a possibilidade de mudança progressiva nas propriedades mecânicas das células de sustentação do estipe de palmeiras, conforme o avanço de sua idade (TOMLINSON, 1987).

As paredes celulares, especificamente, as das fibras do feixe vascular, tornam-se cada vez mais espessas e lignificadas, para que o módulo de elasticidade (rigidez) do eixo aumente progressivamente conforme o crescimento apical da palmeira (TOMLINSON, 1987).

O processo de desenvolvimento subjacente a esses mecanismos é citologicamente distinto, pois o citoplasma da fibra retém a capacidade de deposição da parede celular que se estende por muitos anos (TOMLINSON, 1987).

Além disso, mudanças nas propriedades físicas do caule, constituem o resultado mais direto das mudanças na quantidade de tecidos fibrosos. Isso é observado, principalmente, como um incremento no diâmetro da bainha fibrosa de feixes vasculares individuais. O incremento, na área da seção transversal, para esse tecido pode ser resultado do incremento em diâmetro da fibra com a idade, ou do comprimento da fibra com a idade e do espessamento da parede celular (TOMLINSON, 1990).

O estudo de palmeiras, conta com um pequeno número de cientistas que se especializou nesse grupo (TOMLINSON, 1979). Contudo, os trabalhos concentram-se no exterior e abordam espécies exóticas à flora brasileira.

No que diz respeito às palmeiras amazônicas, o conhecimento adquirido concentra-se em algumas espécies exploradas comercialmente, como a pupunheira (*Bactris gasipaes*) e o açaí (*Euterpe oleraceae*).

A realização de mais investigações científicas envolvendo palmeiras nativas nas diversas áreas do conhecimento é necessária e de fundamental importância, pois muitas espécies brasileiras possuem grande potencial socioeconômico para diversas comunidades (JARDIM; STEWART, 1994). Mesmo algumas espécies que já são industrializadas têm um potencial de uso doméstico e de uso como cultura de subsistência muito além do geralmente suposto, como é o caso do babaçu (MAY et al., 1985).

## 2.2 Jacitara

A espécie *Desmoncus polyacanthos* Mart., popularmente conhecida como jacitara (Figura, 1), pertence à subfamília *Arecoideae*, tribo *Cocoseae* e subtribo *Bactridinae* (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2010). É uma palmeira escandente que tem sido valorizada pela alta qualidade de suas fibras (MIRANDA; RABELO, 2008; MIRANDA et al., 2001).



Figura 1 Morfologia externa da jacitara (*D. polyacanthos* Mart.)

No estudo realizado por Agostinho et al. (2007) e Troy, Ashton e Larson (1997), a jacitara apresentou morfologia e qualidade do caule similar ao *rattan* asiático (*Calamus* spp.).

Apesar das similaridades morfológicas, os gêneros *Desmoncus* e *Calamus* podem ser facilmente diferenciados entre si pelas estruturas que os auxiliam no processo de ascensão ao dossel florestal, derivadas da inflorescência, em *Calamus*, e das folhas, em *Desmoncus* (ISNARD; ROWE, 2008), conforme podem ser observadas na Figura 2.



Figura 2 Prancha ilustrativa evidenciando as diferenças morfológicas entre os gêneros *Desmoncus* e *Calamus*, Arecaceae  
 Fonte: Adaptado de Bibliodyssey (2009)

Gentry (1993) afirma ainda que *Desmoncus* constitui o único gênero de “*rattan*” neotropical. No livro “Plantas fibrosas da flora mundial”, a espécie é citada como fornecedora de matéria-prima para a indústria do vime, podendo vir a substituir o *Calamus rotang* Linn (MEDINA, 1959).

A jacitara é esparsamente distribuída em sub-bosque e tem preferência por ambientes de baixa luminosidade com sombra difusa. Predomina com menor frequência em áreas abertas, porém tende a crescer na margem de caminhos, próximo de aberturas causadas por queda da árvore, áreas alteradas pela ação antrópica, ao longo de córregos. Além disso, pode desenvolver-se em áreas temporariamente alagadas (ISNARD, SPECK; ROWE, 2005; MIRANDA; RABELO, 2008; MIRANDA et al., 2001).

Os indivíduos de *D. polyacanthos* crescem em caules agregados, escandentes quando crescem na floresta, ou apresentando hábito arbustivo quando no campo a sol pleno. Quando escandentes apresentam muitas vezes crescimento superior a 10 metros de altura, já os arbustivos crescem cerca de 2 metros, atingindo em todos os casos diâmetro não superior a 2,5 cm (LORENZI et al., 1996).

Apresentam folhas com bainha armada de espinhos retos. A folha apresenta *acanthophyllas* em seu ápice, que são estruturas especializadas para auxiliar no processo de ascensão ao dossel da floresta. Os frutos são de cor avermelhada ou alaranjada quando maduros (LORENZI et al., 1996).

No Brasil pode ser encontrada na floresta amazônica, restingas litorâneas, formações florestais do complexo atlântico, bem como em áreas perturbadas com vegetação secundária. Ocorre na Amazônia, Goiás, Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo (LORENZI et al., 1996).

Ao longo da bacia Amazônica, aparece em abundância em florestas secundárias e em cerrados, predominando em florestas de terra firme. Porém, segundo a Fundação Vitória Amazônica (s. d.), a Jacitara é encontrada em igapós do Rio Negro. Parece cipó, mas é cheia de folhas, espinhos e cresce em touceira, igual ao Arumã.

O estipe da jacitara, do tipo calamiforme, elástico-fibroso, é próprio das palmeiras escandentes (MIRANDA; RABELO, 2008).

No Estado do Amazonas, os artesãos do município de Novo Airão usam as fibras do estipe de jacitara para fazer detalhes em preto ou vermelho nos produtos confeccionados com cipó. No município de Barcelos, os artesãos usam a fibra da Jacitara para fazer tipiti, paneiro, aturá, abano e peneira, mas são artefatos usados somente nas atividades domésticas e produção agrícola (SANTOS; FIGUEIRA, [2000?]).

Contudo, sobre essa palmeira, há falta generalizada de informações técnicas. Algumas informações esparsas, e na maioria das vezes, pontuais e pouco representativas são fornecidas, principalmente através do etnoconhecimento das populações encontradas ao longo da bacia do Rio Negro (AMAZONAS, 2005).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE não inclui as fibras de palmeiras em suas pesquisas. Não há informações a respeito da produção atual dessas fibras. Sabe-se apenas que o potencial de produção é grande, por serem fibras de uso geral na Amazônia (AMAZONAS, 2005).

### **2.3 Fibras vegetais**

Fibra refere-se a qualquer estrutura formada por filamentos, de estrutura fina e alongada, geralmente encontrada nos tecidos animais e vegetais ou em algumas substâncias minerais (HOUAISS; VILLAR, 2009). No sentido comercial, pode significar agregados de feixes vasculares com fibras, anatomicamente puras, como ocorre em monocotiledôneas (TOMLINSON, 1990).

Segundo Rowell (1998) e Silva (2002), a estrutura física das fibras vegetais é constituída por células individuais, compostas de microfibrilas (Figura, 3).

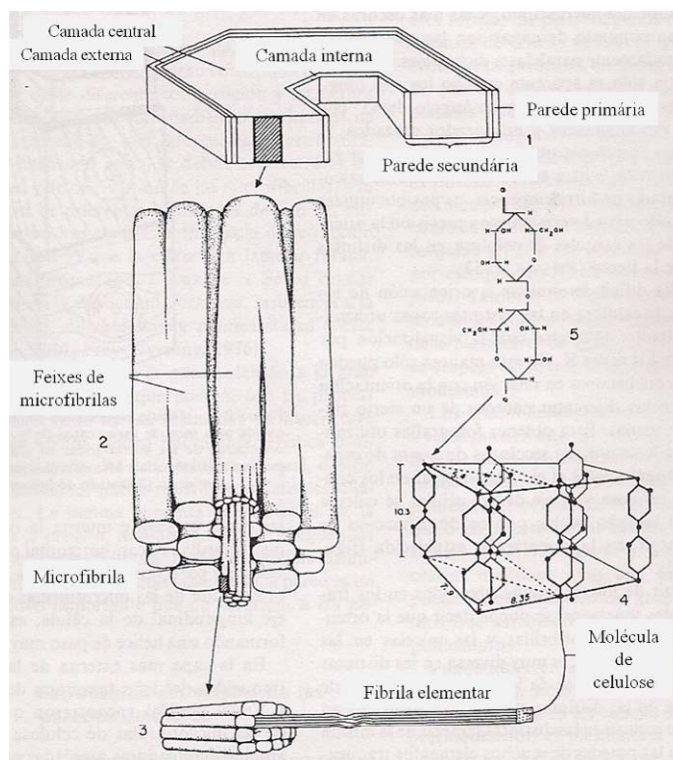


Figura 3 Esquema ilustrativo da organização das unidades fundamentais da parede celular. 1: célula individual; 2: feixes de microfibrilas; 3: microfibrila; 4: molécula de celulose; 5: celobiose

Fonte: adaptado de Fahn (1985)

As fibras vegetais atuam como matéria-prima de excelente qualidade aplicada de diversas maneiras, em diferentes níveis de produção. Sua utilização abrange desde a indústria alimentícia, com a obtenção de celulose solúvel, até as indústrias: automobilística, de aviação e da construção civil, com a produção de compósitos poliméricos e cimentícios (ESTEVES, 2009).

Podem ser obtidas a partir de sementes, caules (talos, chamados fibras moles), folhas (chamadas fibras duras) e frutos, onde a celulose, polímero natural com elevada resistência e rigidez específica, é o principal material de construção das fibras celulares (FINKIELSZTEJN, 2006).

As espécies produtoras de fibras vegetais podem ser de origem lenhosa e não lenhosa. Dentre as espécies lenhosas, destacam-se os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* pertencentes a dois grupos distintos: Gminospermas e Angiospermas, respectivamente. As espécies vegetais não lenhosas mais utilizadas na obtenção de fibras pertencem ao grupo das Angiospermas monocotiledôneas como algodão, sisal, bambu, dentre outros (ILVESSALO-PFÄFFLI, 1994).

#### **2.4 Fibras de gramíneas**

Fibras de origem não lenhosa podem ser obtidas de várias monocotiledôneas (ILVESSALO-PFÄFFLI, 1994).

As monocotiledôneas se caracterizam por apresentar suas fibras ao redor de feixes vasculares. Os feixes fibrovasculares (Figura, 4) aparecem dispersos na secção transversal, embebidos em um tecido com, relativamente, baixa rigidez, composto principalmente por células de parênquima (GARCÍA HORTAL, 2007).

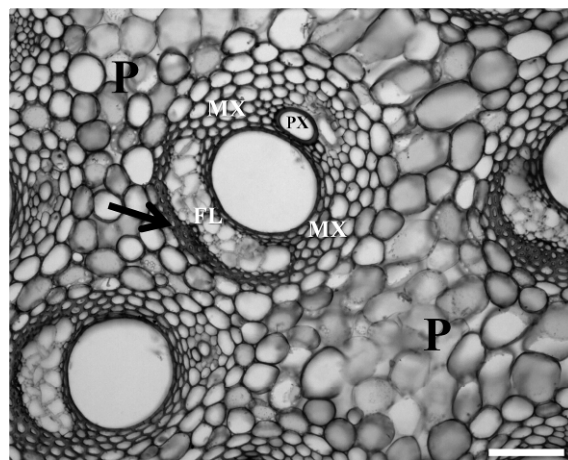


Figura 4 Feixes fibrovasculares em caule de monocotiledônea. P: parênquima; PX: protoxilema; MX: metaxilema; FL: floema. Seta indica as fibras. Barra equivale a 100µm

Segundo Ilvessalo-Pfäffli (1994), muitas das monocotiledôneas são gramíneas anuais e tal como as gramíneas e plantas com folhas fibrosas, as monocotiledôneas incluem muitas plantas produtoras de fibras para fabricação de papel. Na flora tropical há também monocotiledôneas de vida longa, como as palmeiras.

Uma característica importante das fibras de origem não lenhosa é a grande variabilidade em comprimento entre diferentes espécies, sendo o diâmetro, em geral, pequeno (GARCÍA HORTAL, 2007).

Dentre os diferentes tipos de fibras de origem não lenhosa, as fibras de gramíneas são tipicamente estreitas, de parede espessa, apresentando extremidades pontiagudas ou não e pontoações imperceptíveis (ILVESSALO-PFÄFFLI, 1994).

As fibras de gramíneas provem essencialmente dos feixes vasculares de algumas monocotiledôneas e são mais comumente utilizadas para a fabricação de polpa celulósica (ILVESSALO-PFÄFFLI, 1994).

Ilvessalo-Pfäffli (1994) afirma que o comprimento médio de fibras de gramíneas varia entre 1 a 3 mm. O comprimento e largura dessa fibra variam dentro e entre espécies, e são de valor diagnóstico restrito. O comprimento da fibra varia dentro da planta, tanto em todo o caule como ao longo dos internós. A variação ao longo do caule é menor. Dentro de um internó, as fibras são muito curtas ao lado do nó, sendo as fibras maiores encontradas perto do meio do internó. As variações são relatadas em caules altos, como bambus (ILVESSALO-PFÄFFLI, 1994).

Em geral, são acompanhadas de fibras largas, com paredes finas, de extremidades com formas variadas (com redução gradual, oblíqua, sem divisão) e pontoações bem perceptíveis (puntiformes, axial, inclinada). Fibras curtas, largas, com paredes finas e extremidades sem divisão podem assemelhar-se muito com células de parênquima. Formas intermediárias entre as fibras de paredes grossas e finas são comuns. Fibras septadas ocorrem em muitas gramíneas (ILVESSALO-PFÄFFLI, 1994).

De modo geral, as fibras provenientes de vegetais que não formam madeira constituem somente 5% do total geral de fibras usadas para obtenção de polpa celulósica, principal aplicação tecnológica das fibras vegetais. Entretanto, sua importância para países em desenvolvimento e mesmo para muitos países desenvolvidos é grande, visto que se constituem como uma das maiores fontes potenciais de fibras (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT, 1988).

De acordo com Ilvessalo-Pfäffli (1994) a matéria-prima utilizada para obtenção de fibras de gramíneas inclui desde resíduos da agricultura, como as palhas de cereais (milho, *Zea mays*; arroz, *Oryza sativa*) e o bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) até plantas extraídas da natureza (extrativismo) ou de plantios como bambu (*Dendrocalamus* sp.; *Phyllostachys* spp. e *Bambusa*

sp.), papyrus (*Cyperus papyrus*), palmeiras (Arecaceae), (*Eulaliopsis binata*), albardina (*Lygeum spartum*) e esparto (*Stipa tenacissima*),

## 2.5 Caracterização tecnológica de fibras vegetais

As fibras fazem parte da constituição anatômica de muitos vegetais, tendo como principal função a sustentação mecânica (METCALFE; CHALK, 1989).

Devido a sua constituição química, as fibras vegetais são chamadas de matéria-prima de origem lignocelulósica (SILVA, 2002). Os materiais lignocelulósicos são compostos, basicamente, por celulose, hemiceluloses, lignina e constituintes menores (GARCÍA HORTAL, 2007; IPT, 1988; SILVA, 2002).

De acordo com Rowell (1998), a lignocelulose é considerada um compósito polimérico natural, constituída, principalmente por celulose, hemiceluloses e lignina e, apesar das fibras lignocelulósicas apresentarem diferentes composições químicas, no que diz respeito às proporções de seus elementos constituintes, suas propriedades são semelhantes.

Segundo Fahn (1985), o material lignocelulósico de diferentes espécies possui determinadas propriedades que os tornam desejáveis para diferentes usos, e essas propriedades dependem da estrutura anatômica e constituição química dos tecidos que as compõem.

Estudos tecnológicos mais aprofundados sobre as características de fibras vegetais são realizados visando à produção de polpa celulósica e papel e, mais recentemente, à aplicação como reforço de matrizes poliméricas e cimentícias.

As fibras lignocelulósicas são excelentes matérias-primas para a química de polímeros e compósitos, o que pode ser comprovado pelo elevado número de

patentes nacionais e internacionais e o elevado número de produtos já comercializados (SILVA et al., 2009).

No Brasil, o conhecimento em fibras vegetais nas últimas décadas foi intensificado para espécies lenhosas. Contudo, devido às fibras vegetais, de origem não lenhosa apresentar estruturas semelhantes às fibras originadas do xilema secundário, é válido pressupor que as características da madeira possam embasar o estudo tecnológico de fibras vegetais de origem não lenhosa.

### **2.5.1 Propriedades anatômicas**

A qualidade do material lignocelulósico está intimamente associada às suas características anatômicas, como por exemplo, o comprimento de fibras, ângulo microfibrilar, porcentagem de elementos anatômicos, espessura de parede das fibras. Características que têm influência na densidade básica da madeira (RAMOS, 2011).

De acordo com Rowell (1998), estruturalmente, as fibras vegetais são compostas por células individuais que são compostas por microfibrilas, dispostas em camadas de diferentes espessuras e ângulos de orientação (Figura 5).

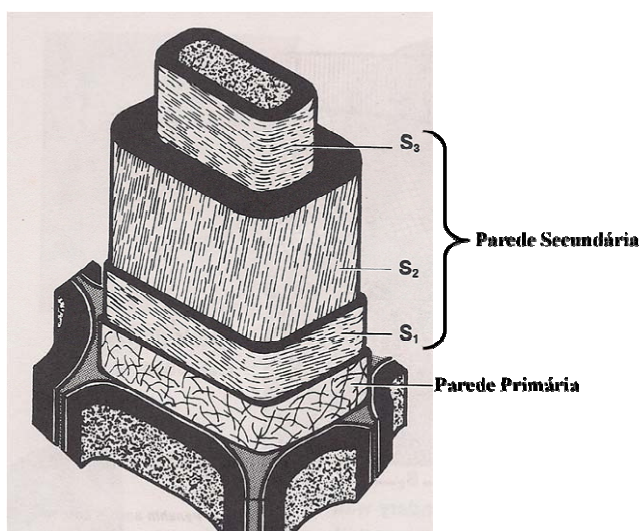


Figura 5 Esquema representativo da organização da parede celular vegetal  
 Fonte: Bowyer, Shmulsky e Haygreen (2003)

As microfibrilas constituem as unidades fundamentais da parede celular dos elementos anatômicos das plantas. Nas camadas da parede celular das fibras do lenho de árvores, principalmente na camada S2, as microfibrilas formam ângulos com o eixo das fibras (TIENNE et al., 2009).

Essa inclinação é importante na definição de várias propriedades do vegetal. Por exemplo, a resistência e dureza podem ser afetadas pelo ângulo microfibrilar, em que, pequenos ângulos são responsáveis por maiores resistências, enquanto ângulos maiores são responsáveis por maior elasticidade (TIENNE et al., 2009).

Segundo Wimmer, Downess e Evans (2002), o ângulo microfibrilar constitui um dos aspectos mais importantes da parede celular. O ângulo formado pelas microfibrilas com o eixo da fibra se relaciona com o comprimento e com a resistência individual da fibra. A orientação das microfibrilas na camada S2 confere alta resistência à tração à fibra vegetal. Valores menores de ângulo correlacionam-se a altas resistências à tração (FOELKEL, 1977).

Existem inúmeros métodos utilizados para determinar o ângulo microfibrilar, dentre eles a microscopia de luz polarizada, em que a luz em sua trajetória deve atingir somente uma parede celular espessa, impedindo o uso de seções de micrótomo ou fibras inteiras (LENEY, 1981).

A composição do lenho e a estrutura e organização de seus elementos determinam as propriedades físicas da madeira e sua aptidão para a indústria (ESAU, 1974). De acordo com Metcalfe e Chalk (1989), o estudo das dimensões das fibras é importante, pois se correlacionam com as propriedades físicas e mecânicas do material lignocelulósico, determinando seu uso final.

As dimensões das fibras proporcionam uma boa indicação da utilidade potencial de um ponto de vista técnico (GARCÍA HORTAL, 2007).

Chimmelo (1980 apud PINHEIRO; DO CARMO, 1993) relata que para se relacionar propriedades físicas e mecânicas da madeira com sua anatomia é necessário uma avaliação quantitativa de seus constituintes anatômicos.

Diversos estudos avaliando as dimensões das fibras vegetais foram realizados visando, principalmente, à indicação de novas espécies para fins de geração de energia e produção de papel.

Paula (1995; 2003) bem como Paula e Silva Júnior (1994) afirmaram que informações sobre características estruturais anatômicas são capazes de orientar o uso mais adequado da madeira de cada espécie, principalmente para geração de energia e produção de papel.

Dentre os parâmetros anatômicos de avaliação, têm-se a fração parede dos elementos celulares, o coeficiente de rigidez e o índice de Runkel (PAULA; SILVA JÚNIOR, 1994).

A fração parede indica o espaço ocupado pela parede em relação ao espaço total ocupado por cada célula (PAULA; SILVA JÚNIOR, 1994). O coeficiente de rigidez indica o grau de achatamento que as fibras sofrem durante

o processo de fabricação do papel (BARRICHELO; FOELKEL, 1975). Quanto menor o valor, maior resistência à fibra exerce ao achatamento.

Em termos práticos, o índice de Runkel pode ser interpretado da mesma forma que o coeficiente de rigidez, visto que ambos os parâmetros verificam a resistência que a fibra apresentará durante o processo de produção do papel (MORESCHI, 1975 apud PAULA; SILVA JÚNIOR, 1994).

O índice de Runkel classifica as fibras em grupos distintos, baseado no valor do diâmetro do lúmen. Valores que oscilam entre 0,25 até 1,0 classificam a fibra como matéria-prima que pode ser utilizada para fabricação de papel. Valores entre 1,0 e 2,0 classificam-na como regular para papel e acima de 2,0 as fibras são tidas como desqualificadas para a finalidade de produzir papel (PAULA; SILVA JÚNIOR, 1994). Portanto, quanto maior o valor obtido pelo índice, menor a possibilidade de utilizar as fibras de uma determinada espécie para produção de papel.

No Brasil, até o presente momento, poucos trabalhos relacionaram a anatomia do material lignocelulósico e suas propriedades físicas, mecânicas e biológicas (PINHEIRO; DO CARMO, 1993). Os trabalhos encontrados geralmente utilizam espécies madeireiras, pertencentes às gminospermas e angiospermas.

De acordo com Metcalfe e Chalk (1989) a resistência mecânica do eixo ereto dos vegetais é dependente da morfologia das fibras. Fahn (1985) afirma que há várias relações entre propriedades e características de matérias lignocelulósicos. A espessura da parede celular, em relação ao lume celular, e a maior ou menor quantidade de compostos impregnados nas paredes e contidos nos lumens podem aumentar ou diminuir a densidade, e também conferir maior ou menor susceptibilidade ao ataque de xilófagos.

### 2.5.2 Propriedades físicas e mecânicas

As propriedades do material da parede celular, especificamente o ângulo microfibrilar e a quantidade de parede celular, medida em termos de densidade, afetam diretamente as propriedades mecânicas da madeira (DONALDSON, 2008).

Panshin e Zeeuw (1964) afirmaram que há uma relação direta entre a densidade da madeira e a sua resistência mecânica. As variações da densidade dependem das mudanças na proporção dos vasos e das espessuras das paredes celulares das fibras. O crescimento da densidade pode ser o resultado do aumento da espessura da parede celular das fibras ou de um aumento na proporção das fibras em relação a outros elementos anatômicos (OLIVEIRA; SILVA, 2003).

As propriedades mecânicas dos materiais lignocelulósicos são a expressão de seu comportamento sob a aplicação de forças ou cargas. Esse comportamento pode sofrer variadas modificações, dependendo do tipo de força aplicada e das diferenças básicas na sua organização estrutural (PÉREZ, 2003).

A força expressa por unidade de área ou volume pode ser entendida como um esforço ou tensão. Dentre os esforços primários, a tração consiste na força aplicada que tende a aumentar a dimensão ou volume do corpo de prova, em um esforço paralelo às fibras (PÉREZ, 2003; URIARTT, 1994).

Para a aplicação das fibras como reforço de compósitos, as propriedades mecânicas das fibras vegetais devem ser avaliadas por meio do ensaio de tração paralela às fibras. Dentre os fatores que influenciam essa propriedade, o ângulo microfibrilar é citado por muitos autores por manter uma relação inversamente proporcional à resistência paralela às fibras.

Devido à necessidade de comparação, Motta e Agopyan (2007) desenvolveram um método de ensaio de tração paralela às fibras, com vistas à

caracterização de fibras sintéticas e naturais, utilizadas como reforço em compósitos aplicados na construção civil. De acordo com Motta e Agopyan (2007), o método proposto apresenta boa reprodutibilidade de resultados, permitindo sua aplicação em laboratórios de caracterização de materiais de construção.

### **2.5.3 Propriedades químicas**

Em pesquisas com fins de caracterização tecnológica é essencial conhecer as características químicas do material em estudo.

Conforme García Hortal (2007), os vegetais fibrosos apresentam constituição extremamente heterogênea, cuja constituição química, anatômica e física varia muito. Proporções dos diferentes constituintes químicos variam entre espécies, dentro da mesma espécie e, inclusive, na parede celular de uma mesma fibra.

A celulose é um polímero formado por unidades do monossacarídeo 1,4  $\beta$ -D-glucose, originando um polímero linear constituído de regiões cristalinas e amorfas (GARCÍA HORTAL, 2007; IPT, 1988).

As hemiceluloses são uma classe de componentes poliméricos de baixa massa molecular, presentes em vegetais fibrosos (IPT, 1988). Atuam como matriz de suporte para as microfibrilas de celulose e constituem de 25 a 35% da massa celular (GARCÍA HORTAL, 2007).

A lignina é um material polifenólico, muito ramificado, tridimensional e amorfo que confere rigidez à parede celular, atuando, ainda, como um permanente agente de ligação entre as células (GARCÍA HORTAL, 2007; IPT, 1988).

A celulose confere à fibra vegetal resistência à tração paralela, já a lignina é parcialmente responsável por sua resistência à compressão. Portanto, as

microfibrilas de celulose, combinadas com os demais materiais da matriz, conferem a rigidez e a resistência necessárias ao vegetal (GARCÍA HORTAL, 2007).

Os constituintes menores incluem compostos orgânicos de diversas funções químicas e, em menor quantidade, compostos inorgânicos e não residem na parede celular (IPT, 1988).

Esses constituintes menores são frequentemente responsáveis por determinadas características da planta como cor, cheiro, resistência natural, sabor e propriedades abrasivas. Sua composição e quantidade dependem de diversos fatores como espécie, idade da planta e região da ocorrência (IPT, 1988).

#### **2.5.4 Termogravimetria**

Outra característica importante no estudo de fibras vegetais visando sua aplicação tecnológica é sua resistência térmica.

Sabe-se que em termos de composição química, a matéria-prima lignocelulósica apresenta constituição diversa e complexa. Devido a toda essa complexidade, seus mecanismos de degradação térmica ainda não são bem compreendidos (ÓRFÃO; FIGUEIREDO, 2001).

Conhecer o comportamento térmico de fibras vegetais é de suma importância em termos de aplicação tecnológica, visto que em muitos processos industriais se utiliza temperaturas na confecção de produtos e subprodutos à base de matéria-prima vegetal, como é o caso de painéis particulados, compensados e aglomerados de madeira. Portanto, é necessário conhecer a faixa de temperatura que resultará na mínima degradação do material vegetal.

O estudo do comportamento térmico das fibras vegetais de origem não lenhosa pode ser encontrado em diversos trabalhos que envolvem a aplicação de

fibras naturais como reforço de compósitos de diferentes naturezas, sejam elas cimentícias ou poliméricas.

A análise térmica consiste em medir uma propriedade física de uma substância, ou de seus produtos de reação, em função da temperatura ou do tempo, sob aumento programado e controlado da temperatura (IONASHIRO; GIOLITO, 1980).

Dentre os diversos tipos de análises térmicas, na Termogravimetria – TG, são mensuradas as variações de massa, informando-se a quantidade de massa perdida pela amostra em função de um acréscimo de temperatura a uma taxa constante, em atmosfera oxidante ou inerte (BROWN, 2001).

Costa (2011) cita vários autores que encontraram três zonas de reação, ao estudar a cinética de degradação de madeira.

A primeira zona ocorre a baixas temperaturas ( $<230^{\circ}\text{C}$ ), sendo degradada a fração mais reativa das hemiceluloses. Na segunda, a principal degradação ocorrida diz respeito à celulose e parte da lignina ( $230\text{-}260^{\circ}\text{C}$ ). Nessa etapa, considera-se que as hemiceluloses reagem completamente durante o período de pré-aquecimento ( $260\text{-}290^{\circ}\text{C}$ ). A terceira zona consiste na predominância de degradação da lignina, que ocorrem sob altas temperaturas ( $>300^{\circ}\text{C}$ ). Contudo, nessa etapa ainda há pequenas frações de celulose, que são degradadas juntamente com a lignina (ÓRFÃO; FIGUEIREDO, 2001; SEYE; CORTEZ; GÓMEZ, 2003).

De acordo com Seye, Cortez e Gómez (2003), as hemiceluloses são menos resistentes à degradação térmica, seguida pela celulose e lignina. As hemiceluloses e a celulose decompõem na faixa de temperatura inferior a  $330^{\circ}\text{C}$ , dependendo da natureza dos heteropolímeros presentes e das condições experimentais. Já a lignina inicia a sua decomposição a temperaturas acima de  $300^{\circ}\text{C}$ .

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da área de coleta

A coleta foi realizada na Área de Proteção Ambiental da Margem Direita do Rio Negro, localizada no município de Novo Airão, Estado do Amazonas (Figura, 6) sob a autorização dos órgãos competentes (CEUC/AM e IBAMA/AM), ANEXOS A e B.

Com o apoio técnico e logístico da Associação dos Artesãos de Novo Airão – AANA, foram coletados 15 estipes provenientes de 5 diferentes touceiras, cujas coordenadas geográficas encontram-se listadas na Tabela 1.

Tabela 1 Coordenadas geográficas das touceiras de jacitara

| <b>Touceiras</b> | <b>Latitude</b> | <b>Longitude</b> |
|------------------|-----------------|------------------|
| 1                | 60°58'2,699"W   | 2°36'28,291"S    |
| 2                | 60°58'2,778"W   | 2°36'28,5"S      |
| 3                | 60°57'39,774"W  | 2°36'34,537"S    |
| 4; 5             | 60°57'39,326"W  | 2°36'38,966"S    |

A exsicata da espécie, em unicata, foi indexada no herbário HUAM, da Universidade Federal do Amazonas, sob o número de registro 8650.

Os estipes de jacitara foram manejados em conformidade com o procedimento executado pelos artesãos da Associação dos Artesãos de Novo Airão e pelas populações tradicionais (SANTOS; FIGUEIRA, [2000?]).

A limpeza das amostras, para evitar o ataque de microrganismos, foi realizada de acordo com o preconizado por Martins da Silva (2002), como pode ser observado na Figura 7.

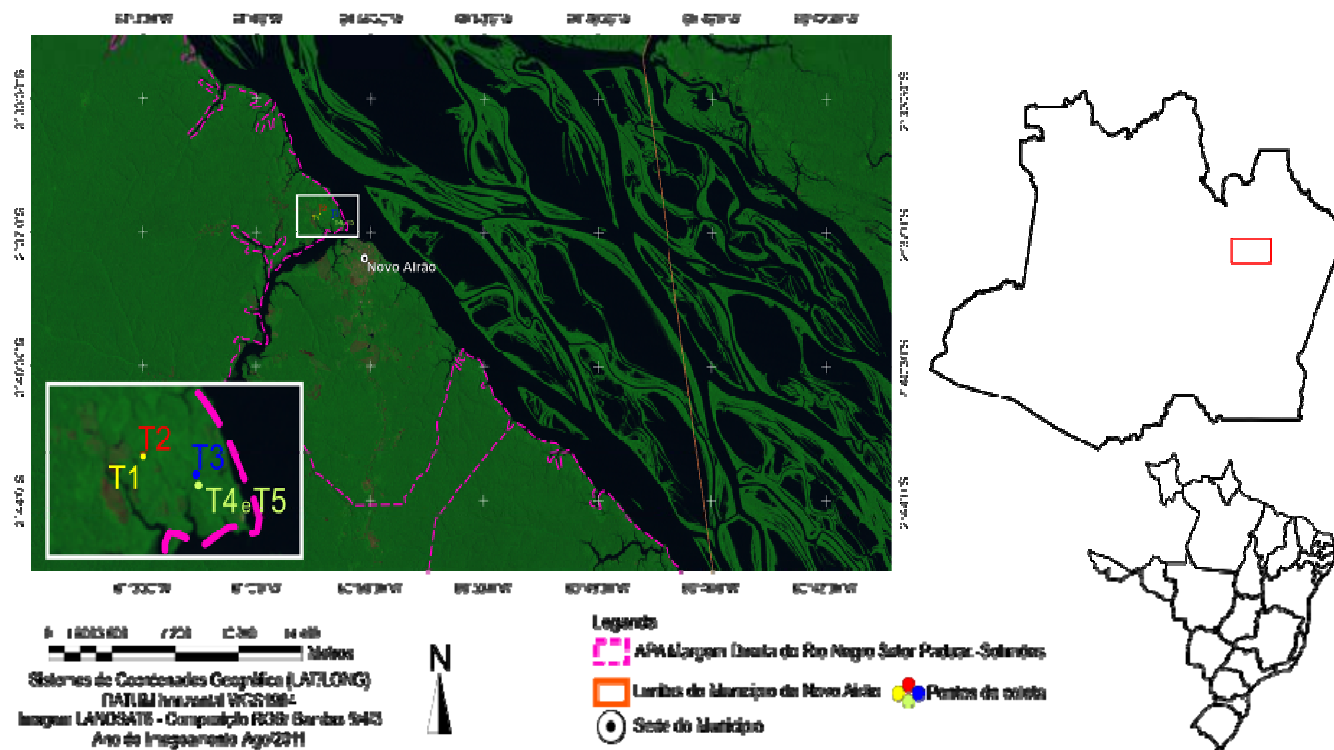


Figura 6 Mapa da área de coleta dos estípes de jacitara. As cores amarelo, azul e vermelho indicam a localização das diferentes touceiras



Figura 7 Coleta e limpeza dos estipes de jacitara

Após a limpeza, os estipes foram devidamente identificados quanto à touceira e ao indivíduo (Figura, 8). O comprimento aproveitável foi mensurado com auxílio de fita métrica de 20 m. A escolha dos estipes para o estudo anatômico, físico e mecânico ocorreu por meio de sorteio aleatório, de forma casualizada, e os estipes restantes foram destinados ao estudo químico. Ao fim do sorteio foram destinados 5 estipes para o estudo anatômico, físico e mecânico e os 10 estipes restantes, para o estudo químico.



Figura 8 Identificação e armazenamento dos estipes coletados

A maior quantidade reservada para o estudo químico se justifica pelo diâmetro reduzido dos estipes, garantindo assim a obtenção necessária de serragem para uma melhor amostragem. Os estipes destinados à caracterização química foram submetidos à secagem ao ar livre. Já os estipes destinados à caracterização anatômica foram seccionados nos pontos correspondentes a 0, 25, 50, 75 e 100% do comprimento aproveitável do estipe.

### 3.2 Caracterização anatômica

O estudo anatômico microscópico descritivo, qualitativo e quantitativo foi realizado no Laboratório de Anatomia da Madeira, do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras – UFLA/MG.

Para o estudo anatômico quantitativo das fibras foi realizada amostragem nas porcentagens 0%, 25%, 50%, 75% e 100% do comprimento aproveitável de 5 estipes de touceiras diferentes, conforme Figura 9.

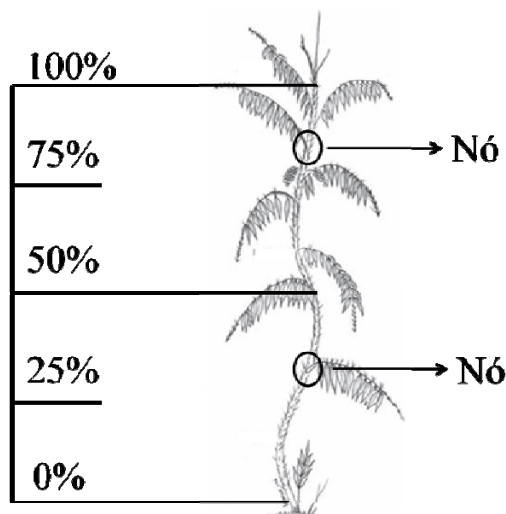


Figura 9 Metodologia de Amostragem

Fonte: Adaptado de Quiroz et al. (2008)

Em cada porcentagem amostrada (Figura, 9) foram retiradas frações do estipe de 4cm de comprimento. O diâmetro dessas frações foi mensurado com auxílio de paquímetro de precisão 0,01mm. Posteriormente, tais frações foram armazenadas em solução fixadora F.A.A (formaldeído 40% + ácido acético glacial P.A. + álcool etílico 70%, nas respectivas proporções 90:5:5 v/v), para posterior confecção das lâminas histológicas, conforme mencionado por Gomes et al. (2011).

Para realização do estudo descritivo foram confeccionadas lâminas histológicas semipermanentes, a partir de cortes histológicos, retirados de amostras da base do estipe, com 10µm de espessura, obtidos em micrótomo de deslize utilizando-se navalha de aço tipo C. Os cortes foram fixados nas lâminas utilizando-se água glicerinada, na proporção 1:1 (v/v). Os cortes histológicos foram corados com Safrablau, preparado com Safranina 0,1% e Astrablau 1%.

A microscopia eletrônica de varredura também foi utilizada para observação do estipe, nas seções transversal e longitudinal. O preparo e a observação das amostras foram realizados no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME), no Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras –UFLA/MG, seguindo a metodologia descrita por Alves (2009). Utilizou-se o microscópio eletrônico de varredura modelo LEO Evo-40.

Para realização do estudo quantitativo, foram observadas lâminas histológicas semipermanentes de material macerado para mensuração das variáveis “diâmetro total da fibra”, “diâmetro do lúmen” e “comprimento” em microscópio de luz. Na ausência de norma específica para monocotiledôneas, a classificação anatômica das fibras foi realizada conforme as normas de Procedimento em Estudos de Anatomia de Madeira do IBAMA (CORADIN; MUNIZ, 1992), para o comprimento e norma da *International Association of*

*Wood Anatomists* (IAWA COMMITTEE, 1989), para a espessura das fibras e de suas paredes.

Foram retiradas “lascas”, no plano longitudinal, de corpos de prova secos ao ar livre, com tamanho aproximado de  $5\text{mm}^2$ , para o preparo de material macerado. As “lascas” foram armazenadas em recipiente de vidro, com capacidade de 20 mL, contendo 10 mL de uma solução macerante de ácido acético e peróxido de hidrogênio na proporção de 1:1 (v/v).

O recipiente de vidro foi fechado e acondicionado por 72 horas em estufa à temperatura de  $60^\circ\text{C}$ , para dissolução da lignina, desagregando-se assim os elementos anatômicos. Após a dissolução da lignina e, consequente branqueamento do material, o mesmo foi retirado da estufa e lavado abundantemente em água corrente, conforme adaptação de Lima et al. (2007)

O macerado foi armazenado no recipiente de vidro de 20mL, em água destilada e, com o intuito de melhor visualizar os elementos dissociados, foram adicionadas 3gotas de safranina hidro-alcoólica 1% (v/v).

A partir dos valores de diâmetro total e diâmetro do lúmen das fibras, os parâmetros anatômicos “espessura da parede ( $\mu\text{m}$ )”, “fração parede (%)”, “coeficiente de rigidez (%)” e “índice de Runkel” foram obtidos, conforme equações abaixo:

$$EP(\mu\text{m}) = \frac{Dt - Dl}{2} \quad (1)$$

$$FP(\%) = \left( \frac{2 \times EP}{Dt} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$CR(\%) = \left( \frac{Dl}{Dt} \right) \times 100 \quad (3)$$

$$IR = \frac{2 \times EP}{DI} \quad (4)$$

em que:

EP: Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ );

Dt: Diâmetro total ( $\mu\text{m}$ );

DI: Diâmetro do lúmen ( $\mu\text{m}$ );

FP: Fração parede (%);

CR: Coeficiente de Rigidez (%);

IR: Índice de Runkel.

As dimensões dos elementos anatômicos foram mensuradas com o auxílio de um microscópio de luz Ken-A Vision modelo TT-1010, com aumento de 1.25x a 40x, associado a uma câmera digital Pixelink, modelo PL A662, e do *software* de análise de imagem WinCeLL Pro, da *Regent Instrument Inc* – Canadá.

Para as medições das variáveis “diâmetro total” e “diâmetro do lúmen” utilizou-se 30 repetições, ou seja, 30 mensurações em cada porcentagem do comprimento amostrada (0, 25, 50, 75 e 100%), para o indivíduo representante de cada touceira, na variável “comprimento” utilizou-se 50 repetições.

### 3.2.1 Análise dos dados

Foram determinadas as estatísticas descritivas média, desvio padrão e coeficiente de variação dos parâmetros anatômicos em estudo.

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, contendo 5 tratamentos, referentes às proporções 0, 25, 50, 75 e 100% do comprimento

aproveitável e 5 repetições, correspondente a cada touceira coletada. A análise estatística foi realizada com o auxílio do *software* R 2.11.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008).

Foram realizados os testes de Bartlett e Shapiro-Wilk, para verificar a homocedasticidade da variância e a normalidade da distribuição dos erros experimentais, respectivamente. Para as variáveis que não atenderam aos pressupostos da experimentação, homocedasticidade e normalidade foi utilizado o logaritmo natural do valor médio dos tratamentos avaliados.

No que diz respeito à pré-análise estatística da variável “diâmetro do estipe”, observou-se que esta atendeu aos pressupostos da experimentação. As variáveis “diâmetro total”, “espessura da parede” e “comprimento”, atenderam aos pressupostos da experimentação e foram analisados sem que nenhuma transformação fosse necessária.

As demais variáveis não atenderam aos pressupostos e foram submetidas a diferentes tipos de transformações. As variáveis “diâmetro do lúmen”, “fração parede” e o “coeficiente de rigidez” apresentaram melhores resultados para a aplicação do logaritmo natural, contudo, mesmo após transformação, não atenderam à hipótese de normalidade. Já a variável “Índice de Runkel”, apresentou melhores resultados sem a utilização de transformações, mesmo não atendendo à hipótese de normalidade.

Apesar de algumas variáveis em estudo não atenderem à hipótese de normalidade, a análise estatística não foi prejudicada, pois, segundo Pimentel-Gomes (1987), não há restrição se a hipótese de normalidade não for totalmente atendida, pois os testes paramétricos mais utilizados, t e F, não se alteram muito se a distribuição for apenas aproximadamente normal ou mesmo que a distribuição se afaste bastante da normalidade.

Reis e Ribeiro Júnior (2007, p. 13) afirmam ainda que não há necessidade de substituir o teste paramétrico F pelos seus respectivos competidores não paramétricos na ausência de normalidade.

Portanto, não houve necessidade de substituir o teste paramétrico F, por seu respectivo teste não paramétrico, na ausência de normalidade das variáveis em estudo.

O teste paramétrico F, da análise de variância, foi utilizado ao nível de 5% de significância, e o teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade, para comparação múltipla das médias, quando o teste F apresentou significância.

### **3.3 Ângulo microfibrilar**

Na caracterização anatômica ultraestrutural das fibras do estipe foi determinado o ângulo microfibrilar de fibras localizadas em diferentes posições ao longo do estipe.

Os tratamentos considerados correspondem às regiões da base, meio, topo e nó do comprimento aproveitável do estipe. As frações do estipe correspondentes a cada tratamento foram seccionadas no plano tangencial, em micrótomo de deslizamento, utilizando-se navalha de aço do tipo C, obtendo-se cortes com 10 µm de espessura. Cada tratamento foi constituído a partir da junção de cortes histológicos obtidos de 5 indivíduos de diferentes touceiras.

Os cortes obtidos foram macerados em solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético glacial, na proporção de 1:1 (v/v), a 50°C por, aproximadamente 30 horas, adaptado de Ribeiro, Mori e Mendes (2011). Foi utilizado o microscópio *Olympus* BX 51 com adaptador para a polarização da luz e uma mesa giratória, com escala oscilando entre 0 e 360°.

A determinação do ângulo microfibrilar foi realizada segundo metodologia descrita por Leney (1981).

Utilizando-se objetiva de 20x, foram selecionadas trinta fibras para cada tratamento considerado.

O procedimento de medição do ângulo microfibrilar iniciou com a fibra alinhada, em paralelo, ao eixo do microscópio. Nessa posição a fibra apresentou seu máximo brilho, devido a esse alinhamento expor as regiões das microfibrilas, da camada S2 da parede secundária, em que as moléculas de celulose possuem o arranjo ordenado.

Posteriormente, girou-se a mesa do microscópio até o momento em que a fibra apresentou sua máxima posição de extinção, ou seja, a luz polarizada se encontrava sobreposta ao mesmo alinhamento das microfibrilas da camada S2 da parede secundária, não deixando a luz passar. O ângulo microfibrilar das fibras do estipe de jacitara foi determinado pela diferença entre os valores observados, na mesa giratória do microscópio, nas posições em que a fibra apresentou seu máximo brilho e sua máxima posição de extinção.

### **3.3.1 Análise dos dados**

Aplicou-se o delineamento inteiramente casualizado, utilizando 30 repetições, e quatro tratamentos, referentes às proporções base, meio, topo e nó (área do estipe onde as folhas estiveram anexadas). A análise estatística foi realizada com o auxílio do *software* R 2.11.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008).

Foram realizados os testes de Bartlett e Shapiro-Wilk, para verificar a homocedasticidade da variância e a normalidade da distribuição dos erros experimentais, respectivamente. A variável “ângulo microfibrilar” não apresentou erros com distribuição normal. Contudo, segundo Pimentel-Gomes (1987) não há restrições ao prosseguimento da análise estatística se a hipótese de normalidade não for atendida.

O teste paramétrico F, da análise de variância, foi utilizado ao nível de 5% de significância, e o teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade, para comparação múltipla das médias, quando o teste F apresentou significância.

Realizou-se análise de correlação linear de Pearson, com as médias das dimensões das fibras “comprimento”, “diâmetro do lúmen” e “espessura da parede” em função do ângulo microfibrilar nas proporções 0%, 50% e 100% do comprimento aproveitável do estipe de jacitara.

### 3.4 Análises químicas

#### 3.4.1 Preparo das amostras

Os estipes das 5 touceiras, destinadas à caracterização química foram secos à temperatura ambiente por, aproximadamente, 10 dias. Encerrado esse período, foram reduzidos em frações de 10 cm de comprimento e 0,5 cm de espessura, aproximadamente, visando facilitar o processo de moagem (Figura, 10). Contudo, para determinação dos constituintes estruturais, foram utilizadas somente 3 touceiras.

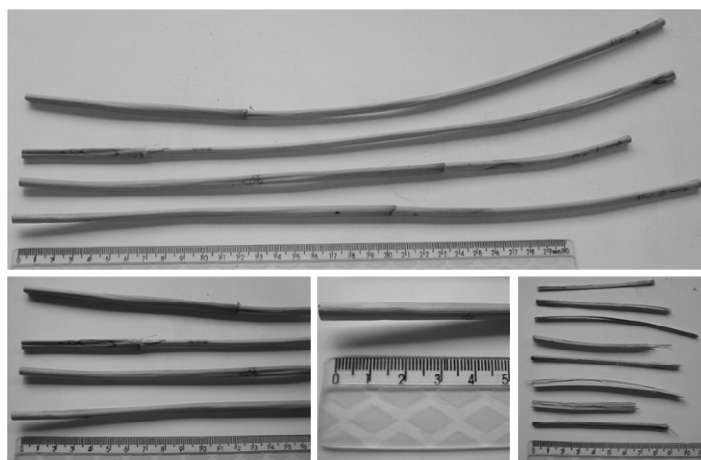


Figura 10 Dimensões dos estipes de jacitara utilizados na obtenção de serragem

As frações do estipe foram moídas em moinho de facas tipo *Wiley*. Visando reduzir ainda mais as partículas obtidas, a serragem foi novamente processada em moinho de facas tipo *Micro-Wiley*.

O material foi classificado em peneiras sobrepostas de 40, 60, 100, 200 e 270 *mesh*. As partículas retidas na peneira de 60 *mesh* foram utilizadas no estudo da constituição química das fibras do estipe.

Após classificação, as amostras destinadas à caracterização química foram acondicionadas em câmara climática sob temperatura de  $(20\pm 3)^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $(65\pm 2)\%$  para homogeneização da umidade, até atingirem massa constante.

O material utilizado na termogravimetria foi diretamente armazenado em frasco de vidro de 10 mL, sem passar por nenhum processo de secagem ou acondicionamento.

Ao final do preparo das amostras, foram obtidas serragens de 60 e 270 *mesh* para cada touceira coletada.

### 3.4.2 Constituintes químicos

Para determinação dos constituintes químicos estruturais, celulose, hemiceluloses e lignina, foram utilizadas somente 3 diferentes touceiras, ou seja, 3 repetições.

A determinação dos componentes químicos estruturais foi realizada no Laboratório de Bromatologia, pertencente ao Departamento de Zootecnia da Universidade de São Paulo - USP, *Campus* Pirassununga.

Os teores de celulose, hemiceluloses e lignina, em base livre de extrativos, foram obtidos segundo metodologia descrita por Silva (2002) e preconizada por Van Soest (1967).

Para determinação dos constituintes químicos menores, extrativos totais e componentes minerais, foram utilizadas 5 repetições.

A determinação dos teores de extrativos totais e componentes minerais foi realizada no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal de Lavras, seguindo-se as normas ABCP M3/89 e ABCP M70/71, respectivamente descritas pela Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel - ABTCP (1974).

### **3.5 Caracterização física e mecânica**

O estudo físico-mecânico foi realizado no Laboratório de Construções e Ambiência da Universidade de São Paulo - USP, *campus* Pirassununga.

#### **3.5.1 Preparo das amostras**

Para o estudo físico-mecânico das fibras, foi realizada amostragem composta, a partir de 5 touceiras. Frações de 15 cm, correspondentes às regiões da base, meio, topo e nó, do estipe de 1 indivíduo (Figura, 11), de cada touceira coletada, foi submergido em água por, aproximadamente, 10 dias visando facilitar a obtenção das amostras.

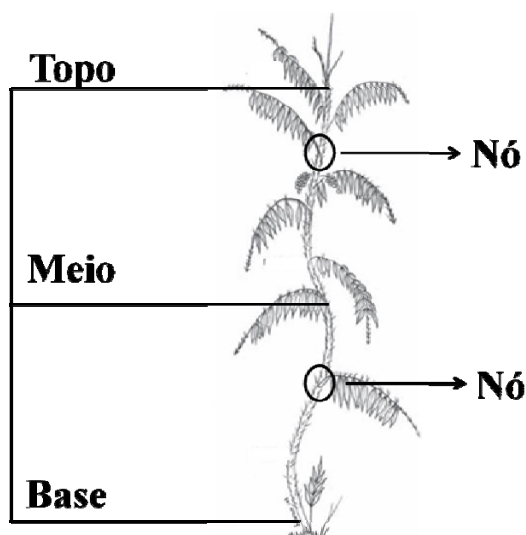


Figura 11 Esquema representativo da amostragem realizada para o estudo físico-mecânico  
 Fonte: Adaptado de Quiroz et al. (2008)

Após esse período, quinze amostras, de cada tratamento considerado, destinadas ao ensaio de tração paralela e densidade real foram obtidas com auxílio de estilete e lâminas de aço, a partir de cortes longitudinais nas frações do estipe, com formato mais homogêneo possível, de forma aleatória e casualizada.

Com o intuito de obter a maior proporção de fibras, a epiderme foi retirada das amostras, raspando-se a face externa à região das fibras, evidenciando a coloração enegrecida da fibra. Cortes longitudinais, paralelos ao eixo das fibras, retiraram o parênquima da face interna à região das fibras, obtendo uma faixa estreita de fibras (Figura, 12), conforme procedimento adotado pelos artesãos e populações tradicionais de Novo Airão-AM.

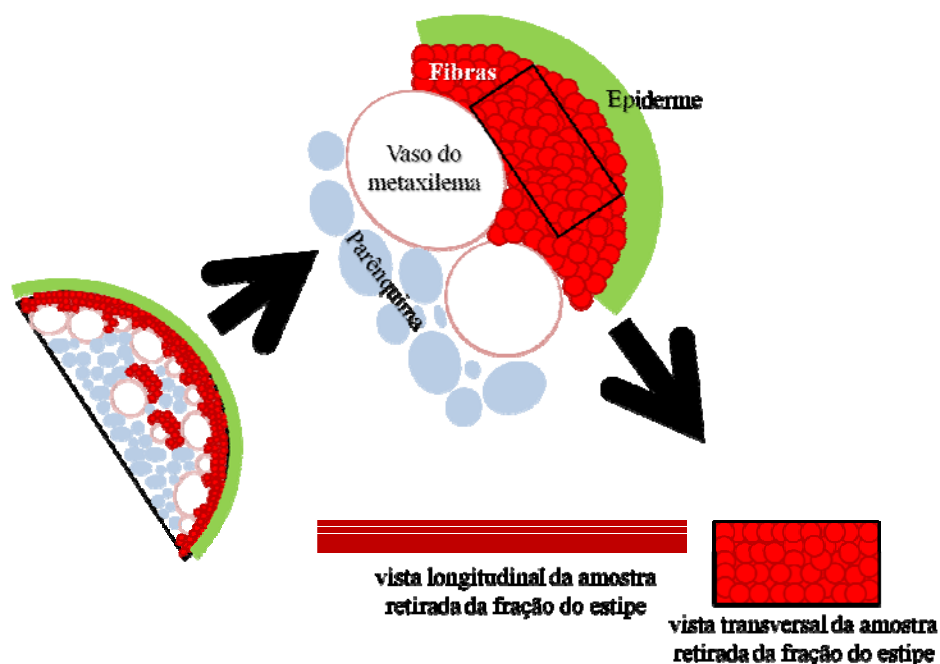


Figura 12 Esquema representativo da obtenção das amostras utilizadas no ensaio mecânico e na determinação da densidade real das fibras

As amostras obtidas para o ensaio de tração paralela foram submetidos a procedimento de secagem parcial em estufa convencional a  $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ , por, aproximadamente, 36 horas.

Para a determinação da densidade real, os feixes de fibras obtidos foram fracionados e secos em estufa convencional a  $100\pm 2^{\circ}\text{C}$ , por, aproximadamente, 96 horas.

### 3.5.2 Ensaio de tração paralela às fibras

O ensaio de tração paralela foi realizado com auxílio de porta-amostras confeccionado com papel sulfite de gramatura 180, cujas dimensões estão informadas na Figura 13, conforme metodologia descrita por Motta e Agopyan (2007).

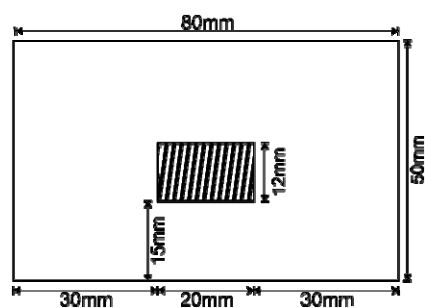


Figura 13 Esquema representativo da porta-amostra e suas respectivas dimensões

Cada amostra da fibra foi fixada na porta-amostra com auxílio de fita dupla face. Sobre a fibra, nas regiões onde ocorre a fixação do corpo de prova às garras pneumáticas da máquina de ensaios, foram fixadas, com auxílio de cola branca, duas frações de papel com dimensões 30x50mm, conforme Figura 14.

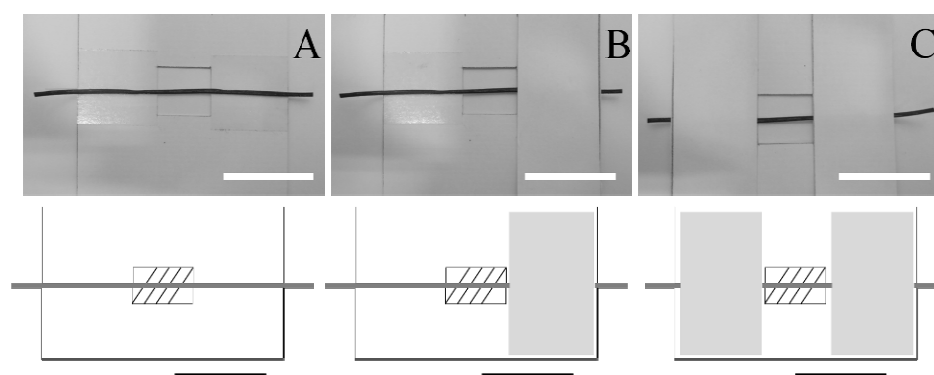


Figura 14 Montagem do corpo de prova. A: fibra depositada sobre o porta-amostra; B: primeira fração de papel sendo depositada sobre a fibra; C: corpo de prova a ser ensaiado. Barra corresponde a 3 cm

Utilizaram-se as duas frações de papel sobre a fibra visando protegê-la contra possíveis deformações causadas pela pressão das garras, evitando o enfraquecimento da fibra onde as garras pneumáticas encontravam-se fixadas ao corpo de prova. Após fixação do corpo de prova às garras pneumáticas da

máquina de ensaios a porta-amostra foi rompida, lateralmente, com o auxílio de uma tesoura, de maneira que a força de tração fosse aplicada somente à amostra da fibra vegetal.

Após a confecção dos corpos de prova, as amostras das fibras foram mensuradas em sua largura e espessura com auxílio de paquímetro digital e micrômetro, com precisão 0,01mm e 0,001mm, respectivamente (Figura, 15).

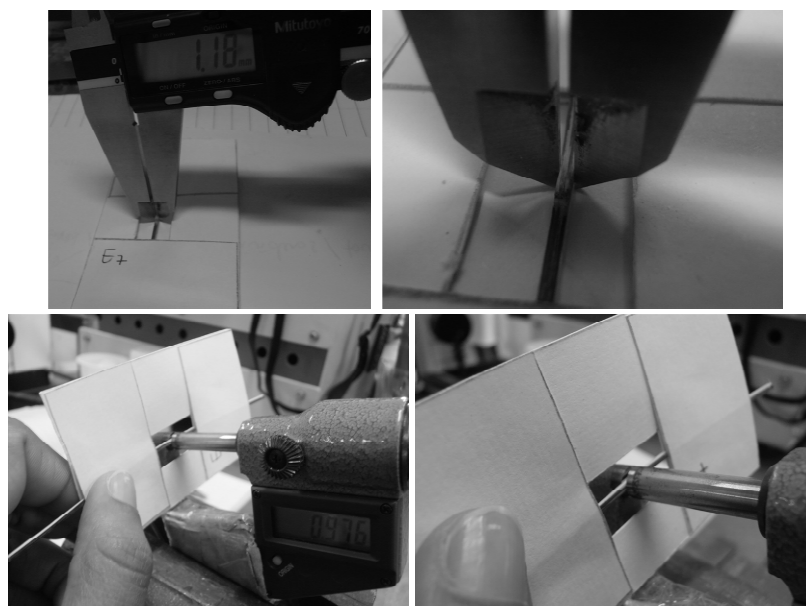


Figura 15 Mensurações realizadas nas amostras de fibras de jacitara, necessárias ao cálculo da área de sua secção transversal

O ensaio de tração axial às fibras foi realizado com auxílio de máquina de ensaios universal modelo EMIC DL30000N (Figura, 16), utilizando célula de carga de 1kN, velocidade de 0,4mm/min, comprimento entre garras de 20mm e pressão das garras pneumáticas de 200kgf.

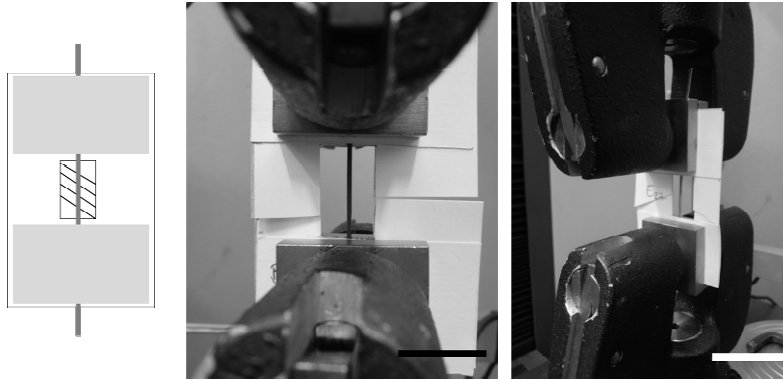


Figura 16 Ensaio de tração paralela às fibras em andamento. Barra corresponde a 2 cm

A resistência à tração de ruptura e o módulo de elasticidade foram determinados, com auxílio do gráfico de tensão x deformação, a partir das equações 5 e 6, respectivamente.

$$T_{\max} = \frac{F_{\max}}{A} \quad (5)$$

$$MOE = \frac{T_1 - T_2}{De_1 - De_2} \quad (6)$$

em que:

$T_{\max}$ : resistência à tração (MPa);

$F_{\max}$ : máxima tensão antecedente à ruptura do corpo de prova (N);

$A$ : área da seção transversal do corpo de prova ( $\text{mm}^2$ );

$E$ : módulo de elasticidade (MPa);

$T_1$ : valor correspondente à máxima tensão obtida dentro da região linear, na curva tensão x deformação (MPa);

$T_2$ : valor correspondente à mínima tensão obtida dentro da região linear, na curva tensão x deformação (MPa);

$De_1$ : valor equivalente à máxima deformação obtida dentro da região linear, na curva tensão x deformação (adimensional);

$De_2$ : valor equivalente à mínima deformação obtida dentro da região linear, na curva tensão x deformação (adimensional).

Após realização do ensaio mecânico, a determinação da umidade dos corpos de prova, foi realizada pelo método de secagem em estufa (VITAL, 1997). Frações das amostras das fibras ensaiadas, divididas em três repetições, foram pesados em balança de precisão de 0,0001 g para determinação da massa úmida ( $P_u$ ). Após, as frações das amostras foram submetidas ao processo de secagem em estufa convencional a uma temperatura de  $100 \pm 3^\circ\text{C}$ , por onde permaneceram por  $\pm 48$  horas. Encerrado esse período, as amostras foram novamente pesadas, obtendo-se a massa seca ( $P_s$ ). O teor de umidade médio das fibras ensaiadas foi obtido através da equação 7.

$$U(\%) = \left( \frac{P_u - P_s}{P_s} \right) \times 100 \quad (7)$$

em que:

$U(\%)$ : Teor de umidade;

$P_u$ : Peso úmido (g);

$P_s$ : Peso seco (g).

### 3.5.3 Densidade real

A determinação da densidade real por picnometria foi realizada por adaptação da metodologia descrita por Motta e Agopyan (2007).

Utilizou-se multipicnômetro modelo *ULTRAPYCNOMETER* 1000 (Figura, 17) e célula do tipo “*small*” com válvula I fechada e válvula II aberta.



Figura 17 Aparelho utilizado na determinação da densidade real das fibras

Os corpos de prova destinados à determinação da densidade real foram retirados da estufa, resfriados em dessecador com sílica gel e pesados em balança analítica com precisão 0,0001g, para determinação da massa seca das fibras.

Para determinação do volume das fibras, o gás Hélio foi liberado, com multipicnômetro devidamente ligado, com antecedência mínima de 1 hora à análise. Em seguida, as fibras foram depositadas na célula do aparelho, procurando-se preencher, ao máximo, o espaço vazio da célula. Fechou-se o compartimento do aparelho, contendo a célula preenchida com fibras de jacitara.

Abriu-se a válvula de entrada do gás, sendo esse direcionado para o “REF” do picnômetro, não ultrapassando a pressão de 18 Psi, observada no visor digital do aparelho, como recomendado pelo fabricante. Após estabilização da

pressão do gás, anotou-se o valor referente à P1. Posteriormente, o gás foi novamente direcionado para o “CELL” do picnômetro. Com a estabilização da pressão, anotou-se o valor referente à P2. A partir dos valores referentes à P1 e P2, o gás Hélio foi totalmente liberado abrindo-se a válvula de saída do aparelho, zerando-se assim o valor da pressão observada no visor do aparelho.

O procedimento descrito anteriormente foi realizado em três repetições, visando eliminar os gases presentes na amostra. Em seguida, foram realizadas oito repetições e anotados os valores de P1 e P2, para cada tratamento considerado.

O volume da amostra foi determinado a partir da equação 8.

$$V_p = V_c - V_r \left[ \left( \frac{P_1}{P_2} \right) - 1 \right] \quad (8)$$

em que:

V<sub>p</sub>: Volume da amostra (cm<sup>3</sup>);

V<sub>c</sub>: Volume da célula “small” do aparelho (cm<sup>3</sup>);

V<sub>r</sub>: Volume da referência do aparelho (cm<sup>3</sup>);

P1: Pressão medida após pressurização do volume de referência (Psi);

P2: Pressão medida após inclusão do volume da célula do aparelho (Psi).

A densidade real foi determinada a partir da equação 9.

$$D_r = \frac{M_s}{V_p} (g / cm^3) \quad (9)$$

em que:

D<sub>r</sub>: Densidade real (g/cm<sup>3</sup>);

Ms: Massa seca da amostra (g);

Vp: Volume da amostra (cm<sup>3</sup>);

### 3.5.4 Análise dos dados

Foram determinadas as estatísticas descritivas média, desvio padrão e coeficiente de variação das variáveis densidade real, resistência à tração e módulo de elasticidade (E).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, composto de 11 repetições e 4 tratamentos, referentes às proporções, base, meio, topo e nó do estipe, para o ensaio de tração paralela às fibras. Já para a densidade real, foram utilizadas 8 repetições para cada tratamento, totalizando assim, 44 amostras para o estudo mecânico e 32 amostras, para a análise física.

A análise estatística foi realizada com o auxílio do *software* R 2.11.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008).

Foram realizados os testes de Bartlett e Shapiro-Wilk, para verificar a homocedasticidade da variância e a normalidade da distribuição dos erros experimentais, respectivamente. Para que todos os pressupostos da experimentação fossem atendidos, utilizou-se o logaritmo natural dos valores médios dos tratamentos referentes às variáveis “resistência à tração” e “módulo de elasticidade”. Os valores médios dos tratamentos da variável “densidade real” atenderam aos pressupostos da experimentação, sem a necessidade de aplicação de transformações matemáticas.

O teste paramétrico F, da análise de variância, foi utilizado ao nível de 5% de significância, e o teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade, para comparação múltipla das médias, quando o teste F apresentou significância.

Realizou-se análise de correlação de Pearson, com a média da espessura da parede e ângulo microfibrilar das fibras de jacitara, em função das variáveis mecânicas, resistência à tração e módulo de elasticidade, sendo considerados os

tratamentos “base”, “meio” e “topo” do comprimento aproveitável do estipe de jacitara.

Com exceção da espessura da parede, as demais variáveis avaliadas foram correlacionadas, com a inclusão e exclusão do tratamento “nó”.

A análise de correlação de Pearson, também foi realizada aplicando-se as médias do ângulo microfibrilar, comprimento, diâmetro do lúmen, espessura da parede, resistência à tração e módulo de elasticidade em função da densidade real das fibras. Todos os tratamentos foram considerados. Apenas nas variáveis anatômicas “comprimento”, “diâmetro do lúmen” e “espessura da parede” o tratamento “nó” não foi considerado.

### 3.5.5 Termogravimetria

Para a análise térmica das fibras do estipe de jacitara foi utilizada amostragem composta, representativa da espécie, a partir da junção e homogeneização do material retido na peneira de 270 *mesh* de cinco touceiras.

Foram utilizadas duas repetições. A análise de Termogravimetria (TG) foi realizada em aparelho *Shimadzu-DTG 60AH*. Foram utilizados  $\pm 4$  mg de cada amostra, submetidas a uma taxa de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$ , à temperatura inicial de  $30^{\circ}\text{C}$  até temperatura final de  $550^{\circ}\text{C}$ , sob fluxo de nitrogênio ( $50\text{ mL min}^{-1}$ ), no Laboratório de Biomateriais, do Departamento de Ciências Florestais, da Universidade Federal de Lavras – UFLA/MG.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Anatomia quantitativa

Os valores referentes ao comprimento aproveitável dos indivíduos coletados e o diâmetro do estipe de jacitara ao longo do comprimento, nas amostras destinadas ao estudo anatômico são representados na Tabela 2.

Tabela 2 Comprimento aproveitável e diâmetro amostrado em diferentes proporções ao longo do estipe

| Parâmetros                   | Valor Mínimo | Valor Máximo | Valor Médio | DP   | CV    |
|------------------------------|--------------|--------------|-------------|------|-------|
| Comprimento aproveitável (m) | 0,86         | 14,46        | 3,77        | 3,32 | 88,18 |
| Diâmetro (cm)                | 0%           | 0,52         | 0,73        | 0,66 | 9,92  |
|                              | 25%          | 0,51         | 0,70        | 0,58 | 10,84 |
|                              | 50%          | 0,52         | 0,67        | 0,59 | 10,12 |
|                              | 75%          | 0,50         | 0,77        | 0,62 | 13,27 |
|                              | 100%         | 0,51         | 0,91        | 0,64 | 17,26 |

Comprimento aproveitável, n=15; Diâmetro, n= 50. DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%)

Como pode ser observado na Tabela 2, os estipes coletados apresentaram diferentes comprimentos e isso se dá pela diferença de idade fisiológica das touceiras e dos indivíduos coletados, pois, assim como ocorre com touceiras de bambu, existem indivíduos jovens e maduros em uma mesma touceira, refletindo, diretamente, em um alto valor para o coeficiente de variação (88,18%).

Diferentes autores (HENDERSON; SCARIOT, 1993; LORENZI et al., 1996; MIRANDA; RABELO, 2008; MIRANDA et al., 2001; TOMLINSON, 1990) relatam que o diâmetro do estipe de jacitara não ultrapassa 2,5cm e, analisando a variável diâmetro, pode-se observar que os estipes coletados não apresentaram valores superiores 1cm, confirmando os relatados sobre o diâmetro reduzido da espécie.

Fisher, Tan e Toh (2002) encontraram valores inferiores a 1 cm de diâmetro nos internós (área do estipe entre dois nós) com comprimento de 19 cm; 22,6 cm e 15 cm, das respectivas espécies, *Calamus* sp., *C. insignis* e *C. javaensis*. Para a espécie *C. laevigatus*, o diâmetro apresentou valor inferior a 1,5 cm, no internó com comprimento de 18 cm.

Sulaiman e Lim (1991) encontraram valores crescentes para o diâmetro, nas proporções referentes à base, meio e topo do caule de *C. manan*, variando de 2,8 até 3,7 cm, para o estipe de maior comprimento (18,2m) e de 2,2 até 2,9 cm, para o estipe de menor comprimento (9,5m).

Pode-se observar, a partir dos relatos citados acima, que o diâmetro do estipe de palmeiras escandentes de diferentes espécies não costuma atingir grandes diâmetros, sendo seus caules/hastes caracterizados como estreitos ou finos e classificados como calamiforme (ALVES; DEMATTÊ, 1987; MIRANDA; RABELO, 2008).

O coeficiente de variação, considerando a variável “diâmetro”, nas proporções 0, 25 e 50% do comprimento aproveitável, apresentou pequena variabilidade (9,92%; 10,84% e 10,12%, respectivamente), comparando-se às proporções 75 e 100% do comprimento aproveitável do estipe, que apresentaram média variabilidade (13,27 % e 17,26, respectivamente) e isso também pode ser explicado pelas diferentes idades fisiológicas, assim como ocorreu para a variável “comprimento”.

Com relação à análise de variância, o efeito dos tratamentos não foi significativo pelo teste F, ao nível de 5% de significância ( $Pr > F_c = 0,56$ ).

Por se tratar de uma espécie monocotiledônea, o estipe apresenta apenas sistemas primários de crescimento. A característica de apresentar pouca ou nenhuma diferença de diâmetro ao longo do estipe é justificada fisiologicamente. Além disso, o estipe de palmeiras escandentes, como é o caso

da jácitara, atinge pequeno diâmetro e apresenta formato, naturalmente, homogêneo (AVÉ, 1986 apud TOMLINSON, 1990).

Tomlinson (1987) afirma ainda que o diâmetro das palmeiras permanece constante com a altura, porque durante o início da sua ontogenia o estipe antecipa futuras demandas mecânicas, que aumentam com o avanço da idade e altura.

Com base nesse resultado, não se faz necessário realizar estratificação durante a coleta, visando diferenciar estipes jovens e adultos.

#### 4.1.1 Dimensões das fibras

A estatística descritiva e os testes de comparações múltiplas das médias obtidas pela caracterização anatômica quantitativa das fibras encontram-se resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 Estatísticas descritivas e testes de comparação múltipla para as diferentes variáveis anatômicas analisadas

| Parâmetros                          | Altura | Média   | DP   | CV    |
|-------------------------------------|--------|---------|------|-------|
| Diâmetro total ( $\mu\text{m}$ )    | 0%     | 16,10   | 0,8  | 4,98  |
|                                     | 25%    | 16,66   | 1,96 | 11,78 |
|                                     | 50%    | 16,51   | 0,54 | 3,27  |
|                                     | 75%    | 16,68   | 0,94 | 5,63  |
|                                     | 100%   | 16,95   | 1,2  | 7,08  |
| Diâmetro do lúmen ( $\mu\text{m}$ ) | 0%     | 4,04 a  | 1,76 | 41,17 |
|                                     | 25%    | 4,05 a  | 2,82 | 61,99 |
|                                     | 50%    | 4,69 ab | 2,28 | 45,34 |
|                                     | 75%    | 5,69 ab | 3,18 | 51,5  |
|                                     | 100%   | 9,20 b  | 3,04 | 31,5  |
| Espessura parede ( $\mu\text{m}$ )  | 0%     | 5,91 a  | 0,72 | 12,18 |
|                                     | 25%    | 6,06 a  | 1,32 | 21,79 |
|                                     | 50%    | 5,74 ab | 1,25 | 21,76 |
|                                     | 75%    | 5,25 ab | 1,23 | 23,44 |
|                                     | 100%   | 3,64 b  | 0,96 | 26,42 |

“continua”

Tabela 3 “conclusão”

| <b>Parâmetros</b>          | <b>Altura</b> | <b>Média</b> | <b>DP</b> | <b>CV</b> |
|----------------------------|---------------|--------------|-----------|-----------|
| Fração Parede (%)          | 0%            | 73,78 a      | 9,14      | 12,3      |
|                            | 25%           | 72,50 a      | 13,87     | 18,8      |
|                            | 50%           | 69,01 ab     | 13,65     | 19,42     |
|                            | 75%           | 62,88 ab     | 16,06     | 24,72     |
|                            | 100%          | 43,36 b      | 14,8      | 32,8      |
| Coeficiente de Rigidez (%) | 0%            | 24,64 b      | 9,14      | 35,52     |
|                            | 25%           | 24,13 b      | 13,87     | 52,88     |
|                            | 50%           | 27,75 ab     | 13,65     | 45,96     |
|                            | 75%           | 32,80 ab     | 16,06     | 45,79     |
|                            | 100%          | 52,97 a      | 14,8      | 26,96     |
| Índice de Runkel           | 0%            | 4,06 a       | 1,49      | 36,73     |
|                            | 25%           | 4,47 a       | 1,95      | 43,7      |
|                            | 50%           | 3,51 ab      | 1,52      | 43,14     |
|                            | 75%           | 2,88 ab      | 1,34      | 46,44     |
|                            | 100%          | 1,09 b       | 0,86      | 78,43     |
| Comprimento (mm)           | 0%            | 2,25         | 0,37      | 16,53     |
|                            | 25%           | 2,60         | 0,31      | 11,85     |
|                            | 50%           | 2,60         | 0,22      | 8,38      |
|                            | 75%           | 2,40         | 0,15      | 6,05      |
|                            | 100%          | 2,33         | 0,32      | 13,63     |

CV: coeficiente de variação (%); DP: desvio padrão. Valores médios seguidos de mesma letra, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância

O comportamento gráfico das variáveis anatômicas ao longo do estipe pode ser observado na Figura 18.

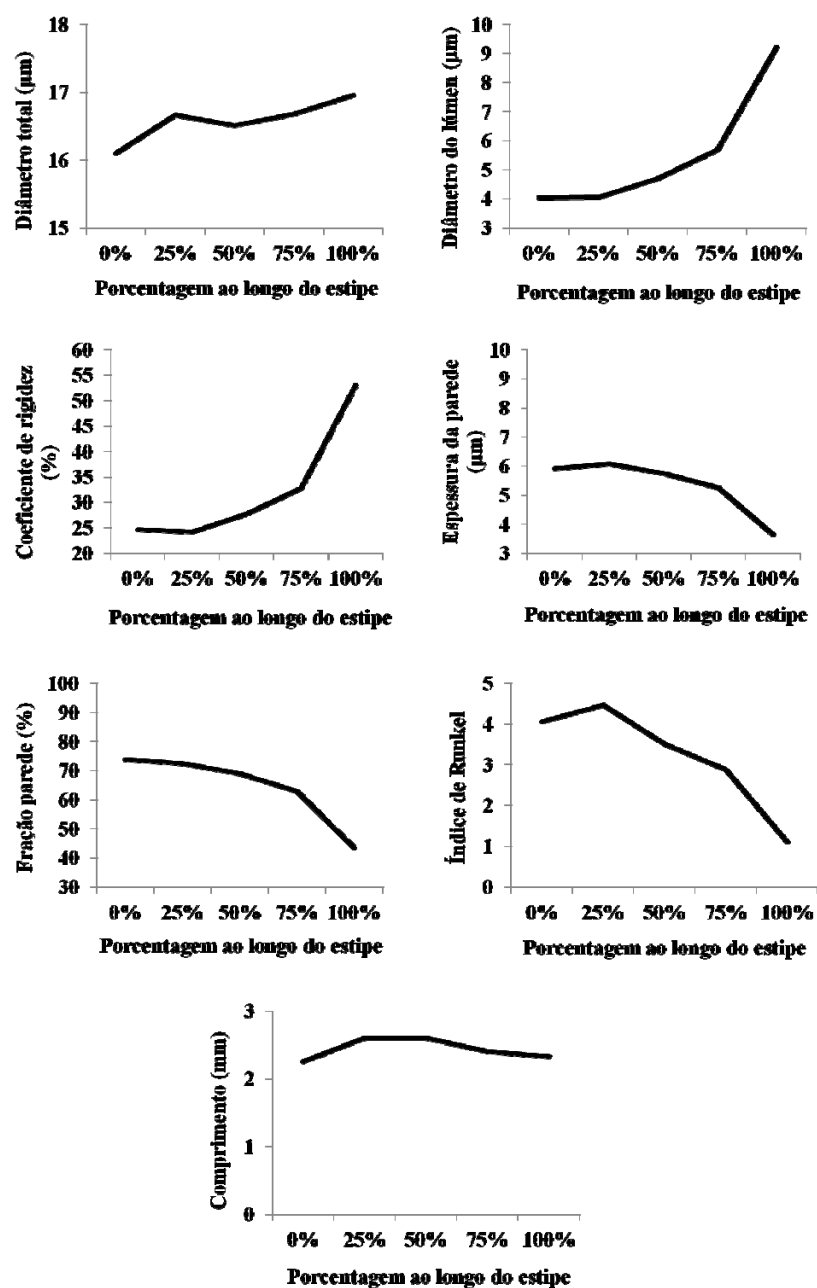


Figura 18 Representação gráfica da variação dos parâmetros anatômicos ao longo do estipe de jacitara

No que diz respeito à análise de variância, a média dos tratamentos das variáveis “diâmetro total” e “comprimento” das fibras de jacitara não apresentaram diferenças significativas, pelo Teste F a 5 % de significância. O efeito dos tratamentos para as demais variáveis anatômicas foi significativo, conforme informado na Tabela 4.

Tabela 4 Resumo das análises de variância realizadas para as variáveis anatômicas em estudo

| FV   | GL | Quadrado Médio       |         |         |         |         |         |                      |
|------|----|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------------|
|      |    | DT                   | DL      | EP      | FP      | CR      | IR      | Comp                 |
| Trat | 4  | 0,4863 <sup>ns</sup> | 0,5862* | 4,8536* | 0,2405* | 0,5225* | 8,7502* | 125981 <sup>ns</sup> |
| Erro | 20 | 1,4207               | 0,1655  | 1,2539  | 0,0605  | 0,1346  | 2,1756  | 80499                |
| CVe  |    | 7,19                 | 24,5    | 21,04   | 5,93    | 10,68   | 46,04   | 11,65                |

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); Trat: tratamentos; DT: diâmetro total ( $\mu\text{m}$ ); DL: diâmetro do lúmen ( $\mu\text{m}$ ); EP: espessura da parede ( $\mu\text{m}$ ); FP: fração parede (%); CF: coeficiente de rigidez (%); IR: índice de Runkel; Comp: comprimento (mm); \*: significativo a 5% pelo Teste F; <sup>ns</sup>: não significativo a 5% pelo Teste F

O diâmetro total das fibras apresentou valores médios em torno de 16  $\mu\text{m}$ , sendo classificadas como estreitas, segundo classificação do *Iawa Committee* (1989). Estatisticamente, não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos analisados.

Contudo, as variáveis “espessura da parede”, “fração parede” e “índice de Runkel” apresentaram valores decrescentes na direção base/topo.

Os maiores valores foram obtidos nas proporções 0 e 25% do comprimento aproveitável do estipe. As proporções 50 e 75% foram estatisticamente semelhantes às proporções 0, 25 e 100% do comprimento aproveitável, apresentando assim valores intermediários entre a base e o topo do estipe. A proporção correspondente ao ápice, ou seja, 100% do comprimento aproveitável apresentou menor valor para tais variáveis.

Por se tratar de uma palmeira, o aumento das dimensões transversais das fibras ocorreu pela deposição de reforços à parede celular, por isso o diâmetro

total da fibra não diferiu, estatisticamente, na direção base/topo. O contrário do que ocorreu para as demais variáveis anatômicas, relacionadas às dimensões transversais da fibra.

Durante o processo de desenvolvimento do vegetal, as fibras apresentam o mesmo diâmetro total, que, conforme haja o avanço na idade do indivíduo, a parede celular das fibras sofre espessamento em função da deposição de material para seu fortalecimento, especialmente lignina.

Tomlinson (1990) afirma que a capacidade das fibras de palmeiras em mudar, pelo menos, as suas dimensões transversais, e continuar a depositar material adicional na parede (ambos, celulose e lignina) é dependente da atividade metabólica de um citoplasma permanente.

Isso pode ser demonstrado pela existência de um núcleo, mesmo em preparações histológicas do estipe de palmeiras adultas. Autores comprovaram a existência de núcleo em fibras de palmeiras com idades de 50 e 200 anos (TOMLINSON, 1987; TOMLINSON, 1990).

Os valores médios de espessura da parede das fibras de jacitara foram superiores a 5µm, para todas as proporções avaliadas, com exceção do ápice caulinar, ou seja, a proporção equivalente a 100% do comprimento total aproveitável. Portanto, as fibras de jacitara apresentam paredes do tipo delgadas a espessas, segundo a classificação do *Iawa Committee* (1989).

Tomazello Filho e Azzini (1987) ao estudarem as fibras da espécie *Bambusa vulgaris* encontraram valores de espessura da parede inferiores aos encontrados para *Desmoncus polyacanthos*, considerando as mesmas proporções do comprimento aproveitável e, diferentemente do que ocorreu para a espécie em estudo, a espessura da parede em *B. vulgaris* foi crescente da base para o ápice (0,67; 0,75; 0,79; 0,80 e 0,81 µm, respectivamente).

Em *Calamus manan* (SULAIMAN; LIM, 1991) a espessura da parede apresentou valores decrescentes da base para o ápice (12,33µm; 9,89 µm e

8,67 $\mu$ m, respectivamente), mesmo comportamento visualizado nas fibras de jacitara, contudo, foram superiores ao encontrados para a espécie em estudo.

A espessura da parede de jacitara foi semelhante à encontrada para espécies madeireiras como *Mimosa artemisiana* (2,99 a 5,48  $\mu$ m) e *Eucalyptus grandis* (4 a 6,78  $\mu$ m), conforme encontrado por Paula (1995).

As fibras de jacitara apresentaram valores acima de 50% para a fração parede de todos os tratamentos, com exceção do tratamento 100%.

A fração parede indica, percentualmente, a quantidade de celulose, hemiceluloses e lignina existentes nas paredes das fibras. Assim sendo, quanto mais espessa é a parede, menos espaços vazios e mais componentes químicos estruturais terão as fibras (PAULA; SILVA JÚNIOR, 1994).

Os valores médios da fração parede das fibras confirmam a classificação das paredes celulares como “delgadas a espessas”, demonstrando que as fibras possuem poucos espaços vazios e são mais reforçadas, devido à maior quantidade de constituintes químicos estruturais (celulose, hemiceluloses e lignina).

No que diz respeito à variável “comprimento”, a fibra apresentou comprimento médio superior a 2 mm, para todos os tratamentos analisados. Portanto, as fibras de jacitara são classificadas como longas, segundo classificação de Coradin e Muniz (1992). O comprimento médio acima de 2 mm em todos os tratamentos avaliados, coloca as fibras de jacitara em uma posição intermediária entre as fibras curtas de *Eucalyptus* (média de 1mm) e as longas de *Pinus* (3,5 mm).

Os valores médios de comprimento não apresentaram diferença significativa entre as diferentes proporções do comprimento aproveitável do estipe. A hipótese que a fibra possui a capacidade de continuar a sofrer divisão celular, mesmo após sua diferenciação pode justificar a ausência de diferença significativa ao longo do estipe.

Quanto a isso, Tomlinson (1990) esclarece tal fenômeno, informando que, as fibras vasculares de palmeiras retêm protoplastos vivos e, portanto, mantêm a capacidade de sofrerem mudanças fisiológicas, potencialmente por toda a vida potencial do caule, mesmo após sua diferenciação, sendo a divisão celular indicada pelo aparecimento de um septo fino que reparte uma célula com paredes espessas.

Levando-se em consideração que, com o aumento da idade do vegetal, as fibras das regiões que atingem a maturidade apresentarão paredes mais espessas e que a divisão celular ocorrerá em células com paredes espessas, pode-se deduzir que as fibras nas proporções 0, 25, 50 e 75% do comprimento aproveitável possam estar sofrendo gradativa divisão celular conforme atinjam sua maturidade fisiológica.

Portanto, diferentemente do que ocorre em fibras de dicotiledôneas, fibras de palmeira possuem citoplasma permanente que mantêm sua atividade metabólica, mesmo após atingirem a maturidade fisiológica celular (TOMLINSON, 1990).

O mesmo autor afirma que as fibras tornam-se, progressivamente, mais curtas no ápice do caule, devendo-se atribuir isso a um declínio no comprimento das células. Contudo, como as fibras maduras podem continuar sofrendo divisão celular, possivelmente, essa possa ser a justificativa para explicar a ausência de diferença significativa da variável “comprimento” entre as diferentes proporções do comprimento aproveitável do estipe.

As fibras de jacitara, correspondentes às proporções 0% até 75% do comprimento aproveitável do estipe, apresentaram valores de fração parede superiores a 60% e conforme Guimarães Júnior, Novack e Botaro (2010), as fibras que possuem valores de fração parede acima de 60% são consideradas rígidas.

A rigidez das fibras pode ser confirmada pelo índice de Runkel e pelo coeficiente de rigidez, já que o índice de Runkel apresenta o mesmo significado do coeficiente de rigidez (PAULA; SILVA JÚNIOR, 1994).

O índice de Runkel para as fibras de jacitara ficou acima de 2, para as proporções 0% até 75% do comprimento aproveitável do estipe, portanto, segundo este índice, as fibras de jacitara apresentam características negativas para a fabricação de papel.

Quanto menor for o índice de Runkel, maior o potencial de ligação entre as fibras, sendo melhor para produção de papel. Entretanto, para produção de compósitos, as fibras não necessitam ligar-se entre si. Além disso, os altos valores obtidos nas fibras de jacitara em diferentes proporções do estipe atestam sua potencialidade de utilização como reforço em diferentes tipos de compósitos.

O coeficiente de rigidez da fibra de jacitara apresentou maior valor na proporção correspondente a 100% do comprimento aproveitável do estipe, demonstrando assim que, quanto mais jovem for a região do estipe de jacitara, mais flexíveis serão suas fibras.

Guimarães Júnior, Novack e Botaro (2010) encontraram valores de 28,06% no coeficiente de rigidez, 71,94% na fração parede e 3,15 no índice de Runkel para a espécie *Bambusa vulgaris*, indicando que essa espécie de monocotiledônea é mais rígida que *Pinus taeda* (NISGOSKI, 2005).

Pereira et al. (2002) ao estudarem a palmeira tucum, *Bactris inundata* M., encontraram valor de índice de Runkel elevado (3,55), assemelhando-se aos valores encontrados para *Desmoncus polyacanthos* e *Bambusa vulgaris*.

O coeficiente de rigidez e fração parede, encontrados por Lima Júnior (2007), para a fibra de açai, *Euterpe oleracea*, (9,81% e 90,20%, respectivamente), demonstram que fibras de palmeiras podem ser extremamente rígidas em relação a outros tipos de fibras vegetais.

O índice de Runkel da espécie *M. artemisiana* foi semelhante à de jacitara, apresentando valores acima de 3, enquadrando tais espécies no grupo V (PAULA, 1995).

A jacitara apresentou ainda, valores de comprimento, espessura da parede, fração parede e índice de Runkel superiores às espécies *Bellucia grossularioides* ( $735,60 \pm 227,09 \mu\text{m}$ ;  $2,30 \mu\text{m}$ ;  $22,22\%$ ;  $0,29$ ), *Cecropia palmata* ( $888,5 \pm 172,5 \mu\text{m}$ ;  $2,5 \mu\text{m}$ ;  $15,30\%$ ;  $0,18$ ), *Duguetia cauliflora* ( $744 \pm 328 \mu\text{m}$ ;  $1,46 \mu\text{m}$ ;  $18,18\%$ ;  $0,20$ ) e *Eschweilera matamata* ( $1460 \pm 330 \mu\text{m}$ ;  $2,3 \mu\text{m}$ ;  $25,5\%$ ;  $0,25$ ), madeiras amazônicas com vistas à produção de papel (PAULA, 2003).

As fibras de jacitara encontradas ao longo do estipe, com exceção às localizadas próximo ao ápice, são finas, longas, de paredes espessas, reforçadas e rígidas.

Ao estudarem *Bambusa vulgaris*, Guimarães, Novack e Botaro (2010), encontraram valores de comprimento ( $2.299,47 \mu\text{m}$ ), diâmetro da fibra ( $13,93 \mu\text{m}$ ), diâmetro do lume ( $3,81 \mu\text{m}$ ) e espessura da parede celular ( $5,06 \mu\text{m}$ ) próximo ao observado nas fibras de jacitara. De acordo com os mesmos autores, tais características anatômicas podem maximizar as propriedades mecânicas de compósitos confeccionados com esse tipo de fibra, tornando-os mais resistentes e mais leves em comparação a outras fibras.

Os valores de referência das variáveis anatômicas em estudo estão resumidos na Tabela 5.

Tabela 5 Valores de referência dos parâmetros anatômicos em estudo

| Espécie                 | COMP<br>(mm) | EP<br>( $\mu\text{m}$ ) | FP<br>(%) | IR   | CR<br>(%) | Referências                       |
|-------------------------|--------------|-------------------------|-----------|------|-----------|-----------------------------------|
| <i>Bambusa vulgaris</i> | 2,3          | 5,06                    | 71,94     | 3,15 | 28,06     | Guimarães, Novack e Botaro (2010) |
| <i>Bactris inundata</i> | -            | -                       | -         | 3,55 | -         | Pereira et al. (2002)             |

“continua”

Tabela 5 “conclusão”

| <b>Espécie</b>                  | <b>COMP<br/>(mm)</b> | <b>EP<br/>(µm)</b> | <b>FP<br/>(%)</b> | <b>IR</b> | <b>CR<br/>(%)</b> | <b>Referências</b> |
|---------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|-----------|-------------------|--------------------|
| <i>Euterpe oleraceae</i>        | -                    | -                  | 90,20             | -         | 9,81              | Lima Júnior (2007) |
| <i>Mimosa artemisiana</i>       | -                    | -                  | -                 | > 3       | -                 | Paula (1995)       |
| <i>Bellucia grossularioides</i> | 0,74                 | 2,30               | 22,22             | 0,29      | -                 | Paula (2003)       |
| <i>Cecropia palmata</i>         | 0,89                 | 2,5                | 15,30             | 0,18      | -                 |                    |
| <i>Duguetia cauliflora</i>      | 0,75                 | 1,46               | 18,18             | 0,20      | -                 |                    |
| <i>Eschweilera matamata</i>     | 1,46                 | 2,3                | 25,5              | 0,25      | -                 |                    |

COMP: comprimento; EP: espessura da parede; FP: fração parede; IR: índice de Runkel; CR: coeficiente de rigidez

Conforme pode ser observado, fibras vegetais de origem não lenhosa, como é o caso da fibra em estudo, podem superar algumas características de fibras de madeiras, como resistência e rigidez. As fibras de jacitara apresentaram alguns parâmetros negativos a sua utilização na fabricação de papel, mas, tais características, podem ser potenciais à utilização das fibras como reforço em compósitos. Talvez, a partir de modificações químicas, as propriedades das fibras de jacitara sejam potencializadas e viabilizem sua aplicação na produção de celulose e papel. Portanto, se faz necessário a realização de estudos mais aprofundados sobre a utilização das fibras de jacitara, tanto na fabricação de polpa de celulose e papel quanto no reforço em compósitos.

#### 4.1.2 Ângulo microfibrilar

O efeito dos tratamentos base, meio, topo e nó, foi significativo para a variável “ângulo microfibrilar” pelo teste F a 5% de significância ( $Pr < F_c = 1,243 \times 10^{-5}$ ).

As estatísticas descritivas, média, desvio padrão e coeficiente de variação, bem como o resultado do teste de Tukey ao nível de 5% de significância, para comparação múltipla das médias dos tratamentos podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 Estatísticas descritivas e teste de comparação múltipla para o ângulo microfibrilar, de *D. polyacanthos* Mart

| Tratamento | Média (°) | DP   | CV (%) |
|------------|-----------|------|--------|
| Base       | 12,83 a   | 2,12 | 16,51  |
| Meio       | 16,03 b   | 3,32 | 20,68  |
| Topo       | 16,47 b   | 3,25 | 19,71  |
| Nó         | 14,50 ab  | 2,92 | 20,15  |

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação. Valores médios seguidos de mesma letra, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância

A porção basal do estipe foi o tratamento que apresentou menor valor de ângulo microfibrilar (12,83°). Por se tratar da região mais desenvolvida do caule, seu menor ângulo microfibrilar pode ser justificado pela maior maturidade das células.

A região do nó apresentou um comportamento intermediário, sendo estatisticamente semelhante à base e aos demais tratamentos.

Os maiores valores de ângulo microfibrilar foram obtidos nos tratamentos “meio” e “topo”. Tais tratamentos apresentaram os valores médios de 16,03° e 16,47°, respectivamente.

O ângulo microfibrilar médio da camada S2 da fibra vegetal é de 10 a 30° (FOELKEL, 1977, p. 31). Segundo Boyd (1980 apud KRISDIANTO, 2008) a orientação das microfibrilas na camada S2 de gminospermas varia de 10° a 30°, enquanto em angiospermas, incluindo o gênero *Eucalyptus*, a variação oscila entre 5° a 20°.

Fibras de origem não lenhosa, como o sisal, coco e malva, possuem valores médios de ângulo microfibrilar da camada S2 na ordem de 10 a 22°, 30 a

49° e 8°, respectivamente, conforme Savastano Júnior e Agopyan (1997 apud SAVASTANO JÚNIOR, 2000).

Segundo Donaldson (2008) a variação do ângulo microfibrilar da camada S2, em madeira adulta, é de 5 a 20° para as fibras axiais de folhosas. Guimarães Júnior, Novack e Botaro (2010) ao estudarem a espécie *Bambusa vulgaris*, uma angiosperma monocotiledônea, encontraram valor médio do ângulo microfibrilar de 11,54°.

Os valores médios de ângulo microfibrilar da jacitara, para todos os tratamentos avaliados, estão dentro do intervalo de ângulo microfibrilar de folhosas adultas e do sisal.

Os tratamentos avaliados apresentaram valores de ângulo microfibrilar abaixo de 17°, o que é bastante satisfatório para a utilização tecnológica das fibras visto que valores menores de ângulo microfibrilar estão correlacionados a uma alta resistência à tração paralela às fibras (FOELKEL, 1977).

No que diz respeito à análise de correlação, o ângulo microfibrilar apresentou moderada correlação positiva com os valores médios de diâmetro do lúmen. Para a espessura da parede, o ângulo microfibrilar apresentou moderada correlação negativa. O comprimento médio das fibras apresentou fraca correlação com o ângulo microfibrilar.

Os valores obtidos na análise de correlação estão resumidos na Tabela 7.

Tabela 7 Valores de correlação entre o ângulo microfibrilar e dimensões anatômicas das fibras de jacitara

| <b>Interação</b>           | <b><math>\rho</math></b> |
|----------------------------|--------------------------|
| AMF x comprimento da fibra | 0,29                     |
| AMF x diâmetro do lúmen    | 0,50                     |
| AMF x espessura da parede  | -0,56                    |

AMF: ângulo microfibrilar;  $\rho$ : coeficiente de correlação

Com base nos resultados obtidos, pressume-se que o ângulo microfibrilar pode estar correlacionado com algumas dimensões da fibra individualizada.

Segundo Donaldson (2008, p. 363) são poucos os trabalhos que comparam o ângulo microfibrilar com a espessura da parede ou o diâmetro do lúmen.

Ribeiro, Mori e Mendes (2011) ao avaliarem o ângulo microfibrilar de *Toona ciliata* cultivada em diferentes municípios encontraram correlações positivas entre o ângulo microfibrilar, diâmetro do lúmen, comprimento e espessura da parede. Para o comprimento das fibras, a correlação foi negativa somente para um município.

Panshin e Zeeuw (1964) afirmam que as correlações entre dimensões das fibras e o ângulo microfibrilar estão diretamente relacionadas à formação da parede celular, em que, na fase de diferenciação, ocorre inicialmente a expansão celular em comprimento e posteriormente em espessura.

Diversos autores citados por Ramos (2011) afirmam que o ângulo microfibrilar é inversamente proporcional ao comprimento da fibra, visto que, em madeira juvenil, são observados maiores valores de ângulo microfibrilar na camada S2 da parede celular e fibras mais curtas. Já na madeira adulta, essa relação é inversa.

No caso da jacitara, por não possuir crescimento secundário, o lenho juvenil é ausente. Contudo, o ângulo microfibrilar cresceu no sentido base – topo, pelo fato das fibras localizadas nas regiões do meio e topo serem fisiologicamente mais jovens e imaturas, devido à atividade do procâmbio de cada feixe vascular, em seus estágios iniciais de desenvolvimento.

Sendo assim, o ângulo microfibrilar das fibras de jacitara comportou-se de forma semelhante à observada para fibras de madeiras, como *Pinus* e

*Eucalyptus*. Visto que, em madeira são encontrados valores crescentes de ângulo microfibrilar no sentido base - topo (DONALDSON, 2008).

## **4.2 Anatomia descritiva**

### **4.2.1 Lâminas histológicas**

O estipe de jacitara apresentou a estrutura anatômica padrão das monocotiledôneas, ou seja, estipe apresentando apenas desenvolvimento primário, constituído de feixes fibrovasculares, distribuídos de maneira aleatória no tecido fundamental.

Sua estrutura anatômica foi semelhante à observada no estipe de *rattan* (*Calamus* sp.). Contudo, a distribuição dos feixes vasculares no estipe diferiu do encontrado em *rattans*, pois, de acordo com Tomlinson (1990) a distribuição dos feixes fibrovasculares no estipe de *rattan* segue um padrão uniforme (Figura, 19)

Em seção transversal, observar-se que o estipe de jacitara se encontra dividido em duas zonas bem distintas. A primeira zona apresenta uma faixa distinta de feixes fibrovasculares cujas fibras encontram-se concentradas na região próxima à epiderme, constituindo diferentes formatos, muitas vezes semelhantes a uma elipse. A segunda zona é constituída por feixes fibrovasculares mais difusamente distribuídos. A porosidade é difusa. Os vasos apresentam-se em grupamentos solitários e múltiplos, bem destacados e apresentam diâmetros largos.

Na Figura 19, a estrutura anatômica geral do estipe de jacitara pode ser observada, em seção transversal.

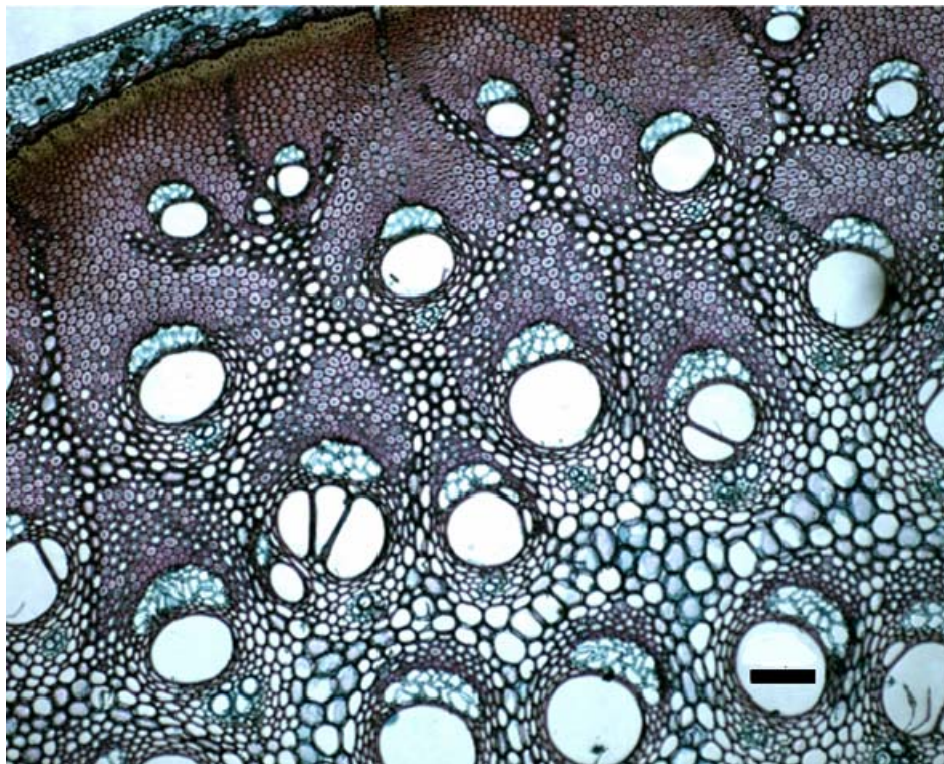


Figura 19 Visão geral do estipe de jacitara, em seção transversal, utilizando microscópio de luz. Barra equivale a 100  $\mu\text{m}$

Na Figura 19, podem ser observados os diferentes elementos anatômicos que constituem o estipe da jacitara. A epiderme, seu tecido primário de revestimento, corada em azul, localiza-se externamente ao cilindro do estipe. Os feixes fibrovasculares, responsáveis pela condução e sustentação do estipe, localizam-se no cilindro do estipe, e são constituídos de proto e metaxilema, grandes vasos do metaxilema, e floema. Cada fibra individualizada, com parede secundária bem desenvolvida e lúmen reduzido, está localizada na região corada em vermelho. Os grandes vasos do metaxilema podem ser observados como os poros de maiores diâmetros, podendo ocorrer de forma solitária ou múltipla, em número de dois ou mais. O floema, em formato “meia-lua”, constituído por

células de parênquima, apresenta parede celular de coloração em azul e localiza-se entre a macrofibra e os grandes vasos do metaxilema.

O conjunto de fibras individualizadas, chamado de macrofibra, em cada feixe vascular, apresenta diferentes formatos em função da quantidade de fibras individualizadas que compõe a macrofibra. Na região mais central do estipe, pode-se observar que a macrofibra apresenta formato “meia-lua”. Na região intermediária do estipe, a macrofibra apresenta um formato semelhante à “cabeça de cogumelo”. Já na região próxima à epiderme, a macrofibra apresenta formato indefinido, já que as macrofibras de diferentes feixes fibrovasculares se unem, formando uma faixa de fibras, densamente concentradas.

Separando os feixes fibrovasculares, podem ser observadas as células de parênquima, que constituem o tecido fundamental do cilindro do estipe. As células de parênquima possuem diâmetros superiores às fibras e inferiores aos grandes vasos do metaxilema e ausência de parede secundária, tendo como principal função o armazenamento de substâncias necessárias ao metabolismo do vegetal.

De acordo com Tomlinson (1990) esses feixes fibrovasculares constituídos de grande proporção de fibras, localizados próximo à epiderme, são os responsáveis pelo aumento da resistência mecânica do caule. Já que o centro do estipe é altamente lacunoso, apresentando muitos feixes vasculares separados pelo tecido fundamental.

Na Figura 20, pode-se observar com maior detalhe que os feixes fibrovasculares maduros, mais externos, localizam-se na periferia do cilindro do estipe, próximo à epiderme, apresentam maior proporção de fibras, comparados aos feixes jovens, mais internos, localizados no centro do cilindro.

Cada feixe fibrovascular possui seu sistema condutor de seiva bruta, proto e metaxilema, de seiva elaborada, floema, e seu tecido de sustentação, as fibras. Os feixes observados no estipe de jacitara são do tipo colateral, ou seja,

contendo floema de um lado e xilema do outro. Estão imersos no tecido fundamental, constituído, basicamente, de células de parênquima.

O protoxilema é ausente ou muito reduzido em feixes mais desenvolvidos, localizados mais externamente ao cilindro do estipe, em função do desenvolvimento do metaxilema que resulta no deslocamento ou até mesmo no colapso de suas células. Os feixes localizados no centro do cilindro apresentam protoxilema mais desenvolvido devido à recém formação do metaxilema (Figura 20)

O metaxilema é constituído por elementos de vaso de variadas dimensões. Contudo, os que apresentam grandes dimensões são mais frequentes. Os elementos de vaso ligam-se entre si por meio de placas de perfuração do tipo escalariforme. As pontuações são do tipo simples, de disposição oposta e distribuição escalariforme (Figura 21).

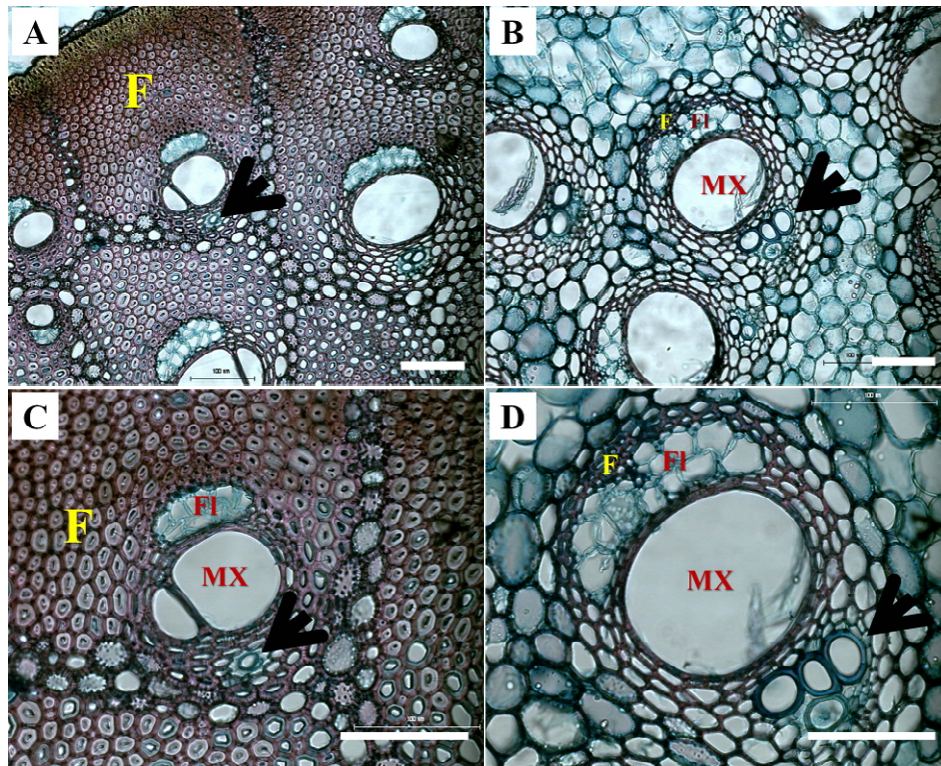


Figura 20 Feixes vasculares em seção transversal. A,C: feixes maduros, localizados próximo a periferia do cilindro. B,D: feixes jovens, localizados no centro do cilindro. F: fibras; FI: floema; MX: metaxilema. As setas indicam o protoxilema. Barra equivale a 100  $\mu\text{m}$

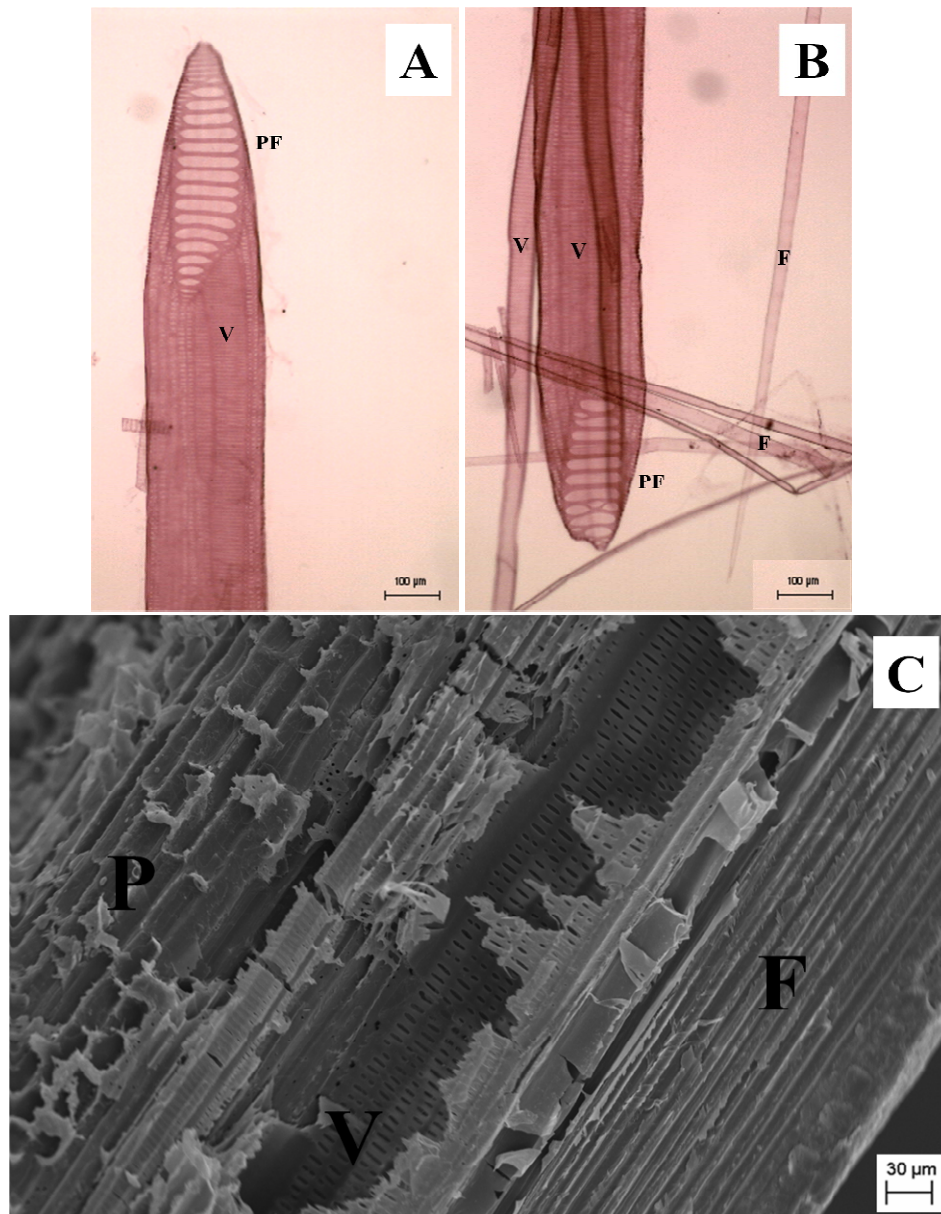


Figura 21 Elementos de vaso. Em microscopia de luz: A e B. Em microscopia eletrônica de varredura, C. Em A, placas de perfuração escalariforme. Em B, vasos com diferentes dimensões. Em C, pontuações. PF: placa de perfuração; V: vaso; F: fibra; P: parênquima

Ao comparar-se cortes histológicos, corados e *in natura*, em seção transversal, podem ser observadas fibras vasculares isoladas, imersas no tecido fundamental na periferia e no centro do estipe de jacitara (Figura, 22), conforme encontrado por Silva (2006) ao estudarem a anatomia foliar de diferentes espécies de palmeiras do Gênero *Oenocarpus*.

As imagens dos cortes *in natura* evidenciam que tanto as fibras vasculares isoladas quanto a faixa de fibras localizadas próxima à epiderme estão naturalmente coradas. Na figura 23, observam-se as fibras apresentando coloração natural com mais detalhes.

A coloração de tonalidade marrom escuro pode ser o reflexo da presença de extrativos depositados nessas estruturas, já que os constituintes menores da parede celular são responsáveis pelas características organolépticas do vegetal (HORTAL, 2007; IPT, 1988).

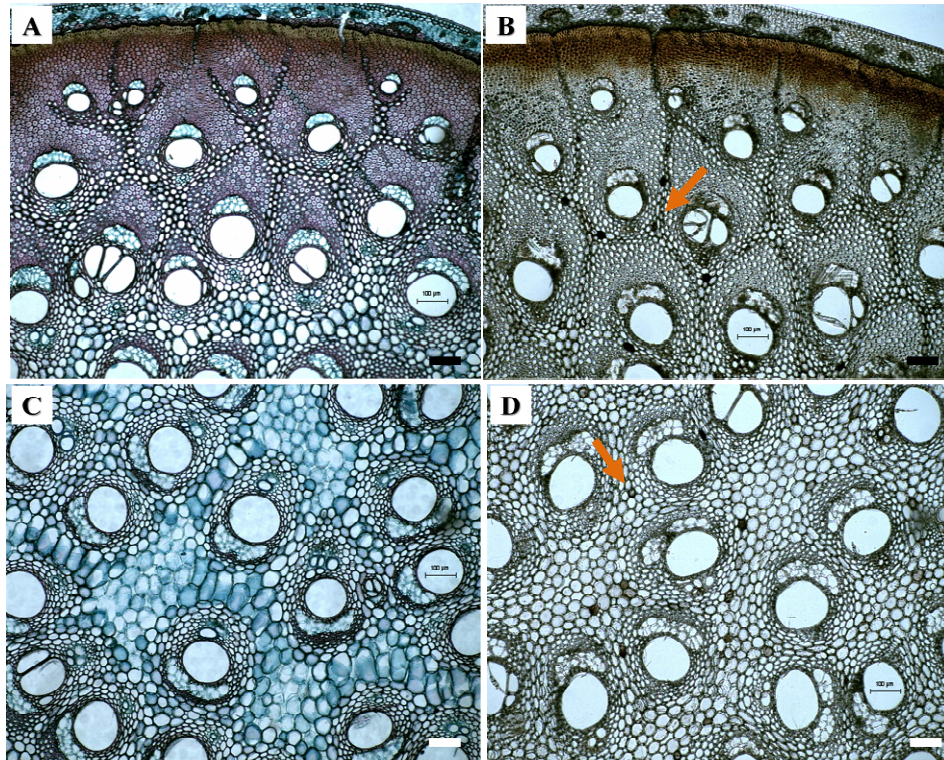


Figura 22 Seção transversal do estipe. A,C: cortes histológicos corados com safrablau. B,D: cortes histológicos *in natura*. A,B: Feixes externos. C,D: Feixes internos. As setas indicam fibras isoladas, circundadas por células parenquimáticas. Barra equivale a 100  $\mu\text{m}$

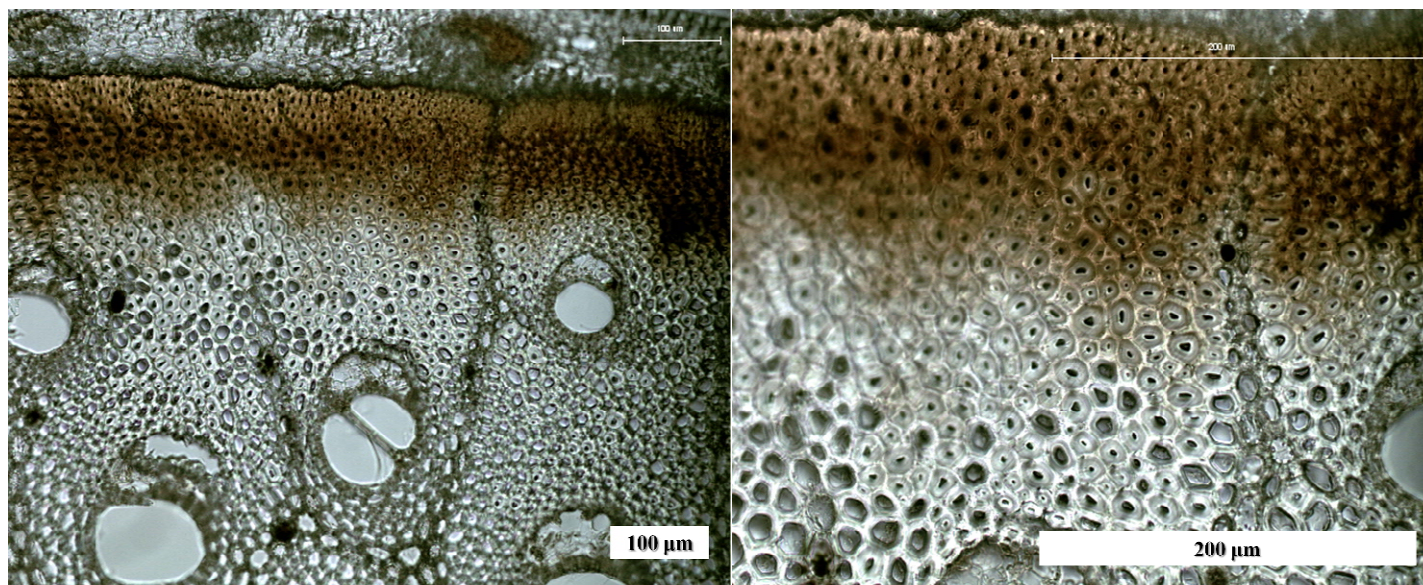


Figura 23 Estipe, em seção transversal, evidenciando a faixa fibrosa com coloração natural, em cortes histológicos *in natura*

### 4.3 Composição química

#### 4.3.1 Constituintes estruturais

Os valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação da composição química estrutural da espécie, em base livre de extrativos, podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 Estatística descritiva da composição química estrutural das fibras de jacitara, em material seco, livre de extrativos

| <b>Componentes</b> | <b>Média (%)</b> | <b>DP</b> | <b>CV (%)</b> |
|--------------------|------------------|-----------|---------------|
| Celulose           | 66,88            | 0,60      | 0,89          |
| Hemiceluloses      | 18,44            | 1,39      | 7,55          |
| Lignina insolúvel  | 14,68            | 0,60      | 4,09          |

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; n=3

O teor de celulose das fibras de jacitara apresentou valor médio superior ao encontrado em fibras de madeira e em fibras de diversas monocotiledôneas. Contudo, foi semelhante encontrado nas fibras do estipe dos palmiteiros branco e macho (IPT, 1988).

O teor de lignina de *D. polyacanthos* (14,68%) foi inferior ao encontrado para muitas das espécies, listadas na Tabela 14, com exceção do sisal (6,97-8%) e curauá (7,5-11,1%).

A porcentagem de hemiceluloses de jacitara está inserida no intervalo encontrado para o bagaço de cana-de-açúcar (16,8 – 29,7%). No que diz respeito às hemiceluloses, a jacitara apresentou valores inferiores às diferentes espécies lenhosas e não lenhosas, listadas na Tabela 14, com exceção das fibras da folha de sisal (10 – 13,9%) e do fruto de coco (14,7%), encontrados por Satyanarayana, Guimarães e Wypych (2007).

De acordo com García Hortal (2007) as fibras vegetais de origem não lenhosa contêm holocelulose (celulose somada às hemiceluloses) superior a 70% e menos lignina, do que as fibras de espécies madeireiras.

Com base nesses resultados, pode-se observar que a composição química estrutural das fibras de jacitara apresenta características singulares. O teor de celulose foi superior às diferentes espécies fibrosas lenhosas e não lenhosas, sendo, portanto, proporcionalmente, inferiores, seus teores de lignina e hemiceluloses.

O alto teor de celulose pode contribuir para a resistência à tração paralela às fibras, devido à presença de ligações covalentes fortes nos anéis piranose e entre unidades de glicose da cadeia de polímero de celulose.

As hemiceluloses atuam como uma matriz responsável pela ligação entre a celulose e a lignina, formando a parede celular (SEDLMEYER, 2011; SUN; LAWThER; BANKS, 1996).

No que diz respeito à lignina, essa também fornece resistência e proteção natural ao estipe. Apesar do teor de lignina nas fibras de jacitara estar abaixo de 15%, os laços que unem as fibras localizadas no estipe podem ser considerados fortes, em virtude da dificuldade de separarem-se as macrofibras dos diferentes feixes fibrovasculares.

Portanto, a matriz lignocelulósica pode estar significativamente correlacionada com a resistência do caule de palmeiras escandentes, como é o caso das palmeiras tropicais do gênero *Desmoncus* e as palmeiras asiáticas pertencentes ao gênero *Calamus*.

A proporção dos componentes químicos estruturais das fibras do estipe de jacitara, se comparada aos diversos tipos de materiais lignocelulósicos, lenhosos ou não, apresentou-se de forma bastante diferenciada. Os valores de referência podem ser observados na Tabela 9.

Tabela 9 Valores de referência para a análise química básica dos componentes fundamentais

| Espécie                        | Componentes fundamentais (%) |               |             | Referência                               |
|--------------------------------|------------------------------|---------------|-------------|------------------------------------------|
|                                | Celulose                     | Hemiceluloses | Lignina     |                                          |
| <i>Calamus manan</i>           | 39,05                        | -             | 22,22       | Kalima e Jasni(2004)                     |
| <i>Calamus occidentalis</i>    | 49,95                        |               | 22,39       |                                          |
| <i>Guadua angustifolia</i>     | -                            | -             | 20,6        | Brito, Tomazello Filho e Salgado (1987)  |
| <i>Dendrocalamus giganteus</i> |                              |               | 23,4        |                                          |
| Bambu                          | 57-66*                       | -             | 21-31       | García Hortal (2007)                     |
|                                | -                            | -             | 20,88       | Paula et al. (2011)                      |
| <i>Saccharum</i> sp.           | 54,3 – 55,2                  | 16,8 – 29,7   | 25,3 – 24,3 | Satyanarayana, Guimarães e Wypych (2007) |
|                                | 49-62*                       | -             | 19-24       | García Hortal (2007)                     |
| <i>Agave sisalana</i>          | 59,18                        | 24,58         | 6,97        | Salazar e Leão (2006)                    |
| <i>Cocos nucifera</i>          | 45,47                        | 20,36         | 31,83       |                                          |
| <i>Agave sisalana</i>          | 74 – 75,2                    | 10 – 13,9     | 7,6 – 8     | Satyanarayana, Guimarães e Wypych (2007) |
| <i>Cocos nucifera</i>          | 43,4 – 53                    | 14,7          | 38,3 – 40,7 |                                          |
| Juta                           | 60                           | 22,1          | 15,9        |                                          |
| Curauá                         | 70,7 – 73,6                  | 21,1          | 7,5 – 11,1  |                                          |
| Piaçava                        | 31,6                         | -             | 48,4        |                                          |
| Açaí                           | 57,3*                        | -             | 19,8        | IPT (1988)                               |
| Palmito branco                 | 61,2*                        | -             | 15,7        |                                          |
| Palmito macho                  | 65,9*                        | -             | 18,6        |                                          |
| Grupo vegetal                  |                              |               |             |                                          |
| Madeira                        | 50*                          | 20            | 15-35       | IPT (1988)<br>García Hortal (2007)       |
| Coníferas                      | 53-62*                       | -             | 26-34       |                                          |
| Folhosas                       | 54-61*                       | -             | 23-30       |                                          |

\* Celulose Cross-Bevan

### 4.3.2 Constituintes menores

Na Tabela 10, estão resumidos os valores médios encontrados para os componentes menores das fibras do estipe de jacitara.

Tabela 10 Estatística descritiva dos constituintes químicos menores das fibras de jacitara

| Componentes                    | Média (%) | DP   | CV (%) |
|--------------------------------|-----------|------|--------|
| Extrativos totais <sup>1</sup> | 11,59     | 0,57 | 4,91   |
| Minerais                       | 1,79      | 0,28 | 15,65  |

<sup>1</sup>Extrativos solúveis em água + álcool + álcool tolueno; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; n=5

Os valores médios obtidos para as fibras de jacitara estão acima do encontrado para as fibras das folhas de sisal (9,27%) e dos frutos de coco (2,33%), no que diz respeito aos extrativos totais. O teor de cinzas foi superior ao encontrado em diferentes espécies lenhosas e não lenhosas, com exceção do sisal (1,95%), conforme podem ser observados na Tabela 11.

Tabela 11 Valores de referência para a análise química básica dos constituintes menores

| Espécie                        | Constituintes menores (%) |          | Referência                              |
|--------------------------------|---------------------------|----------|-----------------------------------------|
|                                | Extrativos totais         | Minerais |                                         |
| <i>Guadua angustifolia</i>     | 19,0                      | -        | Brito, Tomazello Filho e Salgado (1987) |
| <i>Dendrocalamus giganteus</i> | 12,9                      | -        |                                         |
| <i>Saccharum</i> sp.           | -                         | 1,1      | IPT (1988)<br>Paula et al. (2011)       |
|                                | 31,76                     | 0,80     |                                         |
| <i>Agave sisalana</i>          | 9,27                      | 1,95     | Salazar e Leão (2006)                   |
| <i>Cocos nucifera</i>          | 2,33                      | 1,34     |                                         |
| <b>Grupo vegetal</b>           |                           |          |                                         |
| Coníferas                      | -                         | 1        | García Hortal (2007)                    |
| Folhosas                       | -                         | 1        |                                         |

O alto teor de componentes minerais presente nas fibras de jacitara, comparando-se com espécies madeireiras, pode ter explicação no tipo de solo em que a espécie estava inserida.

O solo da região de coleta pertence à formação Alter do Chão (AMAZONAS, 2006) com predominância de caulinita, filosilicato do grupo das argilas (FEARNSIDE; LEAL FILHO, 2001). Possivelmente, os componentes minerais presentes nas fibras de jacitara estão associados a este grupo mineral, os silicatos.

No que diz respeito aos extrativos totais, Hortal (2007, p. 64) afirma que estes abrangem um grande número de compostos, envolvidos nos processos metabólicos do vegetal.

O grande teor de extrativos totais presente nas fibras do estipe de jacitara pode estar associado ao seu hábito escandente, visto que o teor de extrativos influencia, proporcionalmente, na densidade da fibra (BOWYER; SHMULSKY; HAYGREEN, 2003), bem como aumentam sua resistência natural, protegendo o vegetal contra o apodrecimento (IPT, 1988).

Em hipótese, os extrativos totais parecem fortalecer as fibras do estipe de jacitara, aumentando sua densidade e protegendo-as contra o ataque de microorganismos, já que os estipes ficam parcialmente submersos durante o período de cheia dos rios da região, ano após ano.

#### **4.4 Propriedades físicas e mecânicas**

##### **4.4.1 Resistência à tração paralela às fibras e módulo de elasticidade**

Os corpos de prova continham, aproximadamente, 9% de umidade durante o ensaio de tração paralela às fibras.

As curvas de tensão - deformação obtidas para cada tratamento demonstraram que a espécie apresenta comportamento mecânico diferenciado do padrão vegetal (Figura, 24).

Todos os tratamentos apresentaram dois valores distintos de deformação. Pode-se atribuir a isto a idade dos estipes coletados. As fibras de estipes maduros apresentaram valores de deformação menor.

As curvas dos tratamentos “base”, “meio” e “nó” apresentam duas regiões lineares, sendo a primeira região utilizada para o cálculo do módulo de elasticidade.

O nó foi o tratamento que apresentou maior valor de deformação em função de um menor valor de resistência à tração aplicada, ou seja, deformou facilmente perante menores valores de tensão, comparado aos demais tratamentos testados.

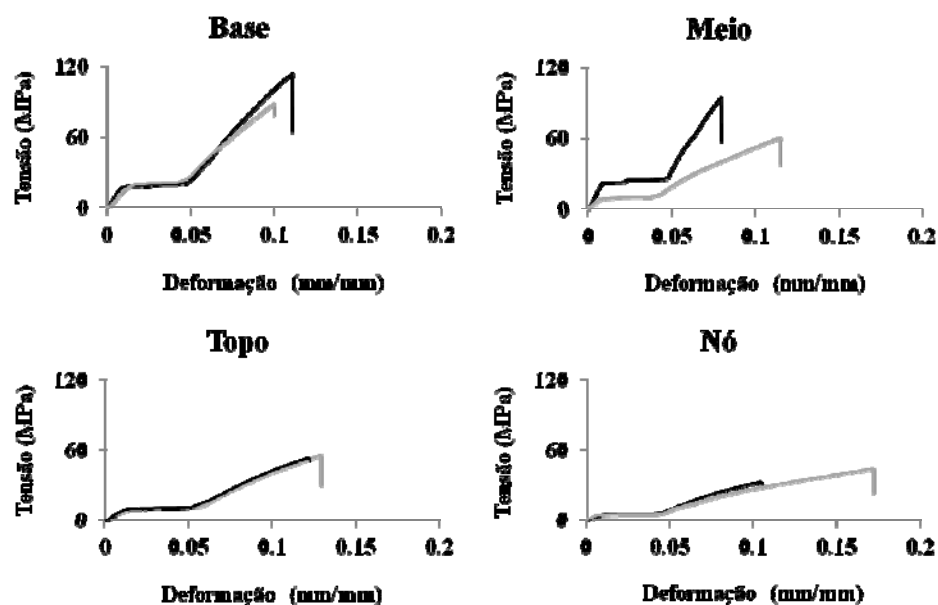


Figura 24 Curvas de tensão x deformação dos tratamentos testados

As amostras de fibra de jacitara apresentaram diagrama de ensaio de tração semelhante ao obtido para o aço de construção, demonstrado por Timoshenko (1966, p. 28). Nos diagramas das fibras de jacitara podem ser observadas quatro regiões distintas (Figura, 24).

A primeira região diz respeito à característica elástica do material, onde a tensão e a deformação foram proporcionais, portanto, apresenta-se no diagrama como uma região linear. Na segunda região ocorreu um alongamento rápido das fibras sem que houvesse um acréscimo acentuado da tensão, fenômeno denominado de escoamento das fibras. Tal fenômeno pode ser observado no diagrama pela quase horizontalidade da curva.

A terceira região do diagrama é representada por uma região com tendência linear, observada no diagrama após o escoamento das fibras. O valor máximo de tensão aplicada representa o fim dessa segunda região “linear”. Uma diminuição da tensão aplicada, até o rompimento das fibras definiu a quarta região do diagrama de ensaio de tração das fibras de jacitara.

O escoamento das fibras de jacitara, representado no diagrama de tração pela horizontalidade da curva, pode estar ocorrendo em função de pequenas fissuras dentro da amostra de fibra, já que a amostra não representa uma macrofibra individualizada e sim um conjunto de macrofibras de diferentes feixes fibrovasculares concentradas próximo à epiderme, unidas pela lamela média. Portanto, esse fenômeno observado no diagrama pode estar representando a separação dessas macrofibras de diferentes feixes fibrovasculares.

No que diz respeito à análise de variância, o efeito dos tratamentos foi significativo ao nível de 5% de significância, pelo teste F, para as variáveis mecânicas de resistência à tração paralela às fibras ( $Pr < F_c = 1,6 \times 10^{-7}$ ) e módulo de elasticidade ( $Pr < F_c = 4,22 \times 10^{-9}$ ).

Os maiores valores de resistência à tração paralela às fibras e módulo de elasticidade foram obtidos nas proporções referentes à base e meio do comprimento aproveitável do estipe (Tabela, 12).

Tabela 12 Estatísticas descritivas e testes de comparação múltipla para as diferentes variáveis mecânicas analisadas na fibra de jacitara

| Variáveis            | Tratamentos | Média (MPa) | DP   | CV (%) |
|----------------------|-------------|-------------|------|--------|
| Resistência à tração | Base        | 70,43 a     | 0,07 | 0,1    |
|                      | Meio        | 67,44 a     | 0,14 | 0,2    |
|                      | Topo        | 44,83 b     | 0,11 | 0,23   |
|                      | Nó          | 37,66 b     | 0,08 | 0,22   |
| E                    | Base        | 1851,05 a   | 0,09 | 0      |
|                      | Meio        | 1546,27 a   | 0,2  | 0,01   |
|                      | Topo        | 757,51 b    | 0,12 | 0,02   |
|                      | Nó          | 732,88 b    | 0,13 | 0,02   |

E: módulo de elasticidade (MPa); DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação. Valores médios seguidos de mesma letra, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância

Os valores de referência das propriedades físicas e mecânicas em estudo podem ser observados na Tabela 13.

As fibras de jacitara apresentaram valores médios, de resistência à tração e módulo de elasticidade, inferiores aos encontrados para algumas fibras lignocelulósicas que vêm sendo utilizadas para reforço de compósitos poliméricos e cimentícios (Tabela, 13).

Vale-se ressaltar que a área da seção transversal das fibras considerada no ensaio pode estar subestimando os valores, visto que não foi possível obter macrofibras individualizadas. Os corpos de prova ensaiados tratavam-se de aglomerados de feixes fibrosos, fortemente unidos, cuja área considerada foi de uma elipse ( $A = \pi \times largura \times espessura$ ).

Tabela 13 Valores de referência da resistência à tração, módulo de elasticidade e densidade real

| Espécie               | Resistência à tração (MPa) | E (MPa)   | DR (g/cm <sup>3</sup> ) | Referência                               |
|-----------------------|----------------------------|-----------|-------------------------|------------------------------------------|
| <i>Saccharum</i> sp.  | 212,27                     | 3600      | 1,375                   | Motta e Agopyan (2007)                   |
|                       | 222                        | 27100     | -                       | Satyanarayana, Guimarães e Wypych (2007) |
| <i>Cocos nucifera</i> | 95-174                     | 2500-4500 | 1,39-1,52               | Satyanarayana, Guimarães e Wypych (2007) |
|                       | 105,97                     | 1900      | 1,289                   | Motta e Agopyan (2007)                   |
| <i>Agave sisalana</i> | 467,04                     | 13400     | 1,511                   | Motta e Agopyan (2007)                   |
|                       | 197                        | -         | -                       | Barra et al. (2011)                      |
|                       | 324-329                    | 1900      | 1,26-1,33               | Satyanarayana, Guimarães e Wypych (2007) |

A maturidade fisiológica das fibras nas porções da base e do meio do estipe de jacitara pode estar diretamente associada ao seu comportamento mecânico.

Tomlinson (1990) nos diz que as palmeiras podem crescer em diâmetro, com o avanço da idade, e suas proporções mecânicas também podem mudar.

Sabe-se que as fibras, após sua formação a partir das células cambiais iniciais fusiformes, passam por diferentes processos de deposição de componentes estruturais, celulose, hemiceluloses e lignina, responsáveis pelas diferentes características das fibras vegetais.

Portanto, no caso das palmeiras, quanto mais avança a idade do vegetal, mais as células recebem um reforço mecânico, pela deposição de lignina, ocorrendo o consequente aumento da espessura da parede celular das fibras, elementos prosenquimatosos presentes em seus feixes vasculares.

Tal afirmativa pode ser confirmada por Tomlinson (1990) ao dizer que as palmeiras têm a capacidade de tornarem seu caule mais resistente quando estes atingem maiores comprimentos/alturas.

De acordo com Tomlinson (1990) é a capacidade da fibra de continuar a depositar material para seu fortalecimento, principalmente, lignina, que aumenta as dimensões da célula ou a espessura da parede, reforçando a rigidez do eixo sem, necessariamente, alterar a forma do caule.

As mudanças nas propriedades mecânicas do caule de palmeiras, conforme o avanço da idade são os resultados das mudanças nas dimensões celulares, como, por exemplo, no espessamento da parede celular, somados aos tipos de deposição celular (TOMLINSON, 1990).

A correlação do ângulo microfibrilar com a resistência à tração foi positiva e fraca, considerando o tratamento nó. Contudo, excluindo-se esse tratamento, a correlação obtida foi negativa e moderada, ou seja, quanto menor o ângulo microfibrilar, maior a resistência à tração paralela às fibras do estipe de jactara. A espessura da parede apresentou positiva e moderada correlação com a resistência à tração. As variáveis mecânicas mostraram-se positiva e fortemente correlacionadas (Tabela 14).

Tabela 14 Coeficientes de correlação obtidos para variáveis mecânicas e variáveis anatômicas

| Interação  | $\rho$ |        |
|------------|--------|--------|
|            | com nó | sem nó |
| TMAX x E   | 0,80   | 0,69   |
| TMAX x AMF | 0,04   | -0,31  |
| TMAX x EP  | -      | 0,40   |

TMAX: resistência à tração; E: módulo de elasticidade; AMF: ângulo microfibrilar; EP: espessura da parede;  $\rho$ : coeficiente de correlação

Assim como ocorreu para a resistência à tração, a correlação do ângulo microfibrilar com o módulo de elasticidade foi fraca, porém negativa, considerando-se o tratamento nó. Ao excluir-se este tratamento, a correlação obtida foi negativa e moderada, confirmando que, quanto menor o ângulo microfibrilar, maior as propriedades mecânicas das fibras. Já a correlação da

espessura da parede com o módulo de elasticidade foi positiva e moderada, assim como ocorreu com a resistência à tração (Tabela, 15).

Tabela 15 Coeficientes de correlação obtidos para o módulo de elasticidade e variáveis anatômicas

| Interação | $\rho$ |        |
|-----------|--------|--------|
|           | com nó | sem nó |
| E x AMF   | -0,22  | -0,32  |
| E x EP    | -      | 0,35   |

E: módulo de elasticidade; AMF: ângulo microfibrilar; EP: espessura da parede;  $\rho$ : coeficiente de correlação

Considerando-se as Tabelas 14 e 15, é possível afirmar que as propriedades mecânicas das fibras de jacitara são diretamente proporcionais, bem como são diretamente proporcionais à espessura da parede e inversamente proporcionais ao ângulo microfibrilar.

#### 4.4.2 Densidade real

A maior média, referente à densidade real, foi encontrada nas amostras localizadas próximo ao ápice do estipe, na proporção equivalente ao topo do comprimento aproveitável do estipe de jacitara. A menor média foi obtida no tratamento “base” do estipe (Tabela 16).

Tabela 16 Estatísticas descritivas e teste de comparação múltipla para a variável densidade real

| Tratamento | Média (g/cm <sup>3</sup> ) | DP    | CV (%) |
|------------|----------------------------|-------|--------|
| Base       | 1,54 c                     | 0,025 | 1,63   |
| Meio       | 1,57 bc                    | 0,026 | 1,67   |
| Topo       | 1,94 a                     | 0,028 | 1,46   |
| Nó         | 1,60 b                     | 0,032 | 1,98   |

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação. Valores médios seguidos de mesma letra, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância

O efeito dos tratamentos “base”, “meio”, “topo” e “nó” foi significativo pelo teste F, ao nível de 5% de significância, considerando-se a variável “densidade real” ( $Pr < F_c = 2,2 \times 10^{-16}$ ).

Os tratamentos “meio” e “nó” foram estatisticamente iguais e apresentam valores intermediários entre a maior e a menor densidade real, para as fibras de jacitara.

A densidade real das fibras de jacitara, para todos os tratamentos avaliados, apresentou valores médios, superiores ao intervalo de densidade da substância da parede celular determinado por Stam (1929) pelo deslocamento de gás hélio (1,48 a 1,54g/cm<sup>3</sup>) a 25°C, bem como o intervalo de 1,50 a 1,56g/cm<sup>3</sup>, relatado por Brown, Panshin e Forsaith (1952) e o valor médio (1,54g/cm<sup>3</sup>) afirmado por Simpson e Ten Wolde (1999).

A determinação dos componentes químicos menores revelou valores acima de 1,5% para os componentes minerais e de, aproximadamente, 12% para extrativos totais, nas fibras do estipe de jacitara.

Os constituintes menores não são componentes essenciais à organização celular. Entretanto, sua presença exerce influência sobre algumas propriedades, mesmo presentes em pequenas quantidades (PANSHIN; ZEEUW, 1964).

De acordo com Bowyer, Shmulsky e Haygreen (2003) e Panshin e Zeeuw (1964) os constituintes menores são depositados dentro da parede celular, durante o processo de formação da parede secundária e sua presença pode exercer grande efeito sobre propriedades físicas como a densidade e a dureza.

Levando-se em consideração tais informações, é possível pressupor que a densidade esteja sendo diretamente influenciada pela presença desses componentes menores.

A propriedade física densidade ainda é dependente do tamanho das células, da espessura da parede além de outras variáveis anatômicas (OLIVEIRA; SILVA, 2003; PÉREZ, 2003).

Na análise de correlação de variáveis anatômicas e propriedades mecânicas com a densidade real, a relação entre tais variáveis pode ser confirmada (Tabela, 17).

Tabela 17 Coeficientes de correlação obtidos para a densidade real, variáveis anatômicas e mecânicas

| Interação | $\rho$ |        |
|-----------|--------|--------|
|           | com nó | sem nó |
| DR x AMF  | 0,51   | 0,47   |
| DR x EP   | -      | -0,79  |
| DR x COMP | -      | -0,11  |
| DR x DLUM | -      | 0,77   |
| DR x TMAX | -0,31  | -0,61  |
| DR x E    | -0,49  | -0,72  |

DR: densidade real; AMF: ângulo microfibrilar; EP: espessura da parede; COMP: comprimento; DLUM: diâmetro do lúmen; TMAX: resistência à tração; E: módulo de elasticidade;  $\rho$ : coeficiente de correlação

O ângulo microfibrilar e a resistência à tração apresentaram correlação moderada com a densidade real. Contudo, foi negativa para a resistência à tração e positiva para o ângulo microfibrilar. A espessura da parede e o diâmetro do lúmen apresentaram forte correlação com a densidade real, sendo esta, negativa para a espessura da parede e positiva para o diâmetro do lúmen. O comprimento das fibras demonstrou ser correlacionado de forma negativa e fraca à densidade real.

Da forma como ocorreu para a resistência à tração, o módulo de elasticidade apresentou correlação negativa, porém moderada, ao considerar-se o tratamento “nó”. Porém, a exclusão deste tratamento, resultou em uma forte correlação com a densidade real.

Contudo, de acordo com Bowyer, Shmulsky e Haygreen (2003) as propriedades mecânicas não são afetadas com a mesma intensidade por mudanças na densidade. Algumas propriedades aumentam com a densidade

muito mais rapidamente do que outras, tais como a dureza superficial, se comparada ao módulo de elasticidade.

O comportamento da densidade das fibras de jacitara parece fugir ao padrão encontrado para materiais lignocelulósicos. Possivelmente, há mais fatores que estejam afetando diretamente a densidade das fibras. Talvez, a hipótese levantada aqui, de que os componentes minerais presentes no estipe de jacitara realmente atuem no aumento da densidade das fibras, seja verdadeira. Contudo, a comprovação de tal hipótese requer estudos mais detalhados sobre a composição e localização desses componentes ao longo do estipe e, principalmente, nas fibras.

Sabe-se que as composições, anatômica e química, exercem grande influência sobre propriedades físicas e mecânicas do material vegetal.

Em revisão realizada por Wimmer, Downess e Evans (2002) vários autores confirmam que a orientação microfibrilar da camada S2 determina, em grande parte, as propriedades mecânicas das fibras individuais, sendo citadas as propriedades de resistência e elasticidade como, diretamente influenciadas pelo ângulo microfibrilar da camada S2.

Segundo Burguer e Richter (1991) a proporção no volume total e a espessura da parede das fibras influem diretamente na densidade e indiretamente nas propriedades mecânicas da madeira.

Panshin e Zeeuw (1964) relatam ainda que a resistência do material vegetal depende não apenas do material contido na parede, mas das proporções dos componentes da parede celular e também da quantidade de extrativos.

As propriedades físico-mecânicas das fibras do estipe de jacitara, portanto, possivelmente sofrem as mesmas influências relatadas em literatura. Contudo, para melhor entendimento das características físicas e mecânicas das fibras do estipe dessa palmeira, devem-se realizar estudos mais específicos, detalhados e aprofundados sobre tal matéria-prima.

#### 4.4.3 Termogravimetria

A curva termogravimétrica das fibras do estipe de jacitara pode ser observada na Figura 25.

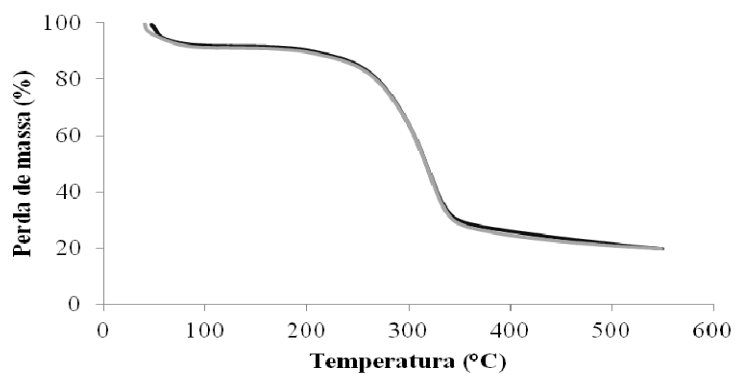


Figura 25 Curva termogravimétrica obtida para as fibras do estipe de jacitara, em atmosfera de nitrogênio

As fibras de jacitara apresentaram o mesmo comportamento à degradação térmica, observado por Órfão e Figueiredo (2001) e Seye, Cortez e Gómez (2003), para materiais lignocelulósicos.

A curva termogravimétrica apresentou três zonas de reação distintas. Vale-se ressaltar que a perda de massa que ocorreu na amplitude térmica entre 40-104°C, refere-se à perda de substâncias voláteis e, majoritariamente, umidade contida nas amostras.

As reações iniciaram entre, aproximadamente, 200°C. A perda de massa foi estabilizada em temperatura próxima a 550°C, indicando que todas as reações haviam ocorrido. Conforme Órfão, Antunes e Figueiredo (1999), nessa faixa de temperatura, as hemiceluloses e a lignina estão iniciando seus processos de reação.

A maior perda de massa aconteceu na amplitude térmica que compreende o intervalo de 250-350°C. Nessa amplitude, todos os constituintes

químicos estruturais se encontravam em degradação térmica, contudo sob diferentes níveis. As hemiceluloses e a lignina continuaram degradando, mas, em menores proporções, se comparadas ao polímero majoritário, celulose.

A constituição química básica revelou que a celulose constitui, aproximadamente, 67% da parede celular das fibras do estipe de jacitara. Em virtude da composição química da celulose e de seu arranjo linear, portanto, pode-se atribuir a maior perda de massa observada na curva termogravimétrica à degradação térmica da celulose.

A gradual perda de massa observada na curva termogravimétrica, para temperaturas acima de 350°C, pode ser atribuída à degradação térmica da lignina visto que devido à complexidade química e estrutural da lignina, esta ocorre de forma lenta e gradual, mesmo a temperaturas muito elevadas, acima de 900°C.

Para que a integridade química e física das fibras do estipe de jacitara seja mantida sugere-se que estas sejam submetidas a temperaturas que não ultrapassem 300°C, visto que, a esta temperatura, as fibras perdem cerca de 40% de sua massa inicial.

Ao observar a Figura 25, verifica-se que, no intervalo correspondente as temperaturas 120-180°C, as fibras apresentaram reduzida perda de massa.

Muitos dos processos industriais que envolvem a aplicação de fibras vegetais em painéis reconstituídos utilizam uma faixa de temperatura que oscila entre 120-140°C, em virtude de alguns constituintes serem termicamente ativados. Para extrusão de polímeros e moldagem por injeção, durante o processo de confecção de compósitos reforçados com fibra vegetal, são utilizadas faixas de temperatura que oscilam de 200 a 255°C.

Com base no resultado obtido, as fibras de jacitara confirmam-se como potencial matéria-prima a ser utilizada como reforço em compósitos.

## 5 CONCLUSÃO

A estrutura anatômica de jacitara corresponde ao padrão organizacional de monocotiledôneas, assemelhando-se ao encontrado no estipe de *rattans*. E, do ponto de vista anatômico, os parâmetros coeficiente de rigidez, fração parede e índice de Runkel apresentaram resultados negativos a sua utilização na fabricação de papel, mas, que podem ser potenciais a sua aplicação como reforço em compósitos.

Os valores de ângulo microfibrilar das fibras de jacitara (12,83 a 16,47°) estão inseridos no intervalo apresentado por coníferas (10 a 30°) e folhosas (5 a 20°). O diâmetro do lúmen e a espessura da parede foram as dimensões das fibras que mais se correlacionaram com o ângulo microfibrilar. A correlação foi positiva (0,50) com o diâmetro do lúmen e negativa (-0,56) com a espessura da parede.

Os teores médios dos componentes químicos estruturais celulose, hemiceluloses e lignina foram 66,88%; 18,44% e 14,68%, respectivamente. Os teores médios dos componentes químicos menores extrativos totais e componentes minerais foram 11,59% e 1,79%, respectivamente. Os valores relativos à composição química das fibras de jacitara foram maiores aos encontrados em fibras de origem não lenhosa utilizadas como reforço de compósitos cimentícios, destinados à construção civil.

Os tratamentos avaliados apresentaram valores de densidade real inseridos no intervalo de 1,54 a 1,94 g/cm<sup>3</sup>. As fibras dos tratamentos base e meio apresentaram maiores valores de módulo de elasticidade e resistência mecânica aos esforços de tração paralela às fibras.

As variáveis que mais se correlacionaram com a densidade real das fibras foram espessura da parede (-0,79), diâmetro do lúmen (0,77), resistência à tração (-0,61) e módulo de elasticidade (-0,72). As propriedades mecânicas

resistência à tração paralela às fibras e módulo de elasticidade apresentaram mais correlação com o ângulo microfibrilar (-0,31; -0,32) e a espessura da parede (0,40; 0,35), excluindo-se o tratamento nó, respectivamente.

O comportamento termogravimétrico das fibras foi semelhante ao apresentado por espécies vegetais, em literatura base, sendo o intervalo de 120 a 180°C, a faixa ótima para aplicação dessas fibras em produtos confeccionados por processos industriais que utilizam temperaturas superiores à 100°C.

Levando-se em consideração todas as características apresentadas pelas fibras da espécie em estudo e comparando-os com outras espécies fibrosas, de origem lenhosa e não lenhosa, pode-se pressupor que a palmeira amazônica jacitara apresenta possibilidade de utilização similar às espécies comercialmente exploradas pelo mercado mundial de fibras vegetais, principalmente no que diz respeito à aplicação das fibras como reforço de compósitos, já que para este fim devem apresentar, dentre outros fatores, resistência e dureza. Entretanto, devem ser realizados estudos específicos que confirmem sua potencialidade nesse tipo de aplicação, assim como, os que favoreçam sua utilização na produção de papel e em outras formas de uso comuns às fibras vegetais.

## REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, L. A. et al. Avaliação farmacológica do extrato da plantas da flora brasileira *Desmoncus polyacanthos*: enfoque antiinflamatório. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE SEVERINO SOMBRA, 1., 2007, Vassouras. **Anais...** Vassouras: [s. n.], 2007. p. 40-42.
- ALVES, E. **Apostila do curso introdutório à microscopia eletrônica de varredura**. Lavras: UFLA, 2009. 43 p.
- ALVES, M. R. P.; DEMATTÊ, M. E. S. P. **Palmeiras**: características botânicas e evolução. Campinas: Fundação Caargil, 1987. 129 p.
- AMAZONAS (Estado). **Cadeia produtiva das fibras vegetais extrativistas no estado do Amazonas**. Manaus: SDS, 2005. 32 p. (Série Técnica Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável).
- AMAZONAS (Estado). **Mapa geológico do Amazonas**. 2006. Disponível em: <<http://www.ciama.am.gov.br/arquivos/download/arqeditor/mapa.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2012.
- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. An update of the angiosperm phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 141, p. 399-436, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL - ABTCP. **Normas técnicas ABCP**. São Paulo, 1974.
- BARRA, B. et al. Effects of methane cold plasma in sisal fibers. In: 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-CONVENTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES, 13., 2011, Changsha. **Proceedings...** Changsha: [s. n.], 2011. p. 14.
- BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B. **Produção de celulose sulfato a partir de misturas de madeira de *Eucalyptus saligna* com pequenas proporções de cavacos de *Bambusa vulgaris* var. *vitatta***. 1975. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr10/cap06.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2011.

BIBLIODYSSEY. **Historia naturalis palmarum**: the natural history of palm trees. 2009. Disponível em: <[http://bibliodyyssey.blogspot.com/2009\\_07\\_26\\_archive.html](http://bibliodyyssey.blogspot.com/2009_07_26_archive.html)>. Acesso em: 10 nov. 2010.

BONDAR, G. **Palmeiras do Brasil**. São Paulo: Instituto de Botânica, 1964.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest products and wood science**: an introduction. 4th ed. Iowa: Iowa State University, 2003. 554 p.

BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M.; SALGADO, A. L. B. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. **Revista IPEF**, Piracicaba, n. 36, p. 13-17, ago. 1987.

BROWN, H. P.; PANSIN, A. J.; FORSAITH, C. C. **Textbook of wood technology**: the physical, mechanical, and chemical properties of the commercial woods of the United States. New York: McGraw-Hill Book, 1952. v. 2.

BROWN, M. E. **Introduction to thermal analysis**: techniques and applications. 2001. Disponível em: <[http://books.google.com.br/books?id=plDCYVQBVQ4C;printsec=frontcover;hl=pt-BR;source=gbs\\_ge\\_summary\\_r;cad=0#v=onepage;q;f=false](http://books.google.com.br/books?id=plDCYVQBVQ4C;printsec=frontcover;hl=pt-BR;source=gbs_ge_summary_r;cad=0#v=onepage;q;f=false)>. Acesso em: 2 fev. 2012.

BURGUER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CORADIN, V. T. R.; MUÑIZ, G. I. D. E. **Normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira**: Angiospermae II-Gimnospermae. Brasília: IBAMA, 1992. 17 p. (Série Técnica, 15).

COSTA, T. G. **Propriedades da madeira de espécies do Cerrado Mineiro e sua potencialidade para geração de energia**. 2011. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

DONALDSON, L. Microfibril angle: measurement, variation and relationship: a review. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 29, n.4, p. 387-396, 2008.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo: E. Blucher, 1974. 293 p.

ESTEVEES, J. L. **Novos materiais e novas estruturas**. 2009. Disponível em: <[www.mctes.pt/archive/doc/NovosMateriaisENovasEstruturas.ppt](http://www.mctes.pt/archive/doc/NovosMateriaisENovasEstruturas.ppt)>. Acesso em: 17 abr. 2010.

FAHN, A. **Anatomia vegetal**. 3. ed. Tradução de Javier Fernadéz Casas, Fernando García Arenal e Joaquin Fernández Pérez. Madrid: Pirâmide, 1985. 599 p.

FEARNSIDE, P. M.; LEAL FILHO, N. Soil and development in Amazonia: lessons from the biological dynamics of forest fragments project. In: BIERREGAARD, C. R. O. et al. (Ed.). **Lessons from Amazonia**: the ecology and conservation of a fragmented forest. New Haven: Yale University, 2001. p. 291-312.

FINKIELSZTEJN, B. **Sistemas modulares têxteis como aproveitamento de fibras naturais**: uma alternativa sustentável em arquitetura: design. 2006. 172 p. Dissertação (Mestrado em Artes e Design) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

FISHER, J. B.; TAN, H. T. W.; TOH, L. P. L. Xylem of Rattans: vessel dimensions in climbing palms. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 89, n. 2, p. 196–202, 2002.

FOELKEL, C. E. B. **Estrutura da madeira**. Belo Oriente: CENIBRA, 1977. 84 p.

GARCÍA HORTAL, J. A. **Fibras papeleras**. Barcelona: UPC, 2007. 243 p.

GENTRY, A. H. **A field guide to the families and genera of woody plants of Northwest South America (Colombia, Ecuador, Peru), with supplementary notes on herbaceous taxa**. Washington: Conservation International, 1993.

GOMES, M. P. et al. Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in *Brachiaria decumbens*. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 68, n. 5, p. 566-573, 2011.

GOULDING, M.; SMITH, N. **Palmeiras**: sentinelas para conservação da Amazônia. Lima: Amazon Conservation Association (ACA), 2007.

- GUIMARÃES JÚNIOR, M.; NOVACK, K. M.; BOTARO, V. R. Caracterização anatômica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, Bilbao, v. 11, n. 7, p. 442-456, 2010.
- HENDERSON, A.; SCARIOT, A. A flórmula da Reserva Ducke, I: Palmae (Arecaceae). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 23, n. 4, p. 349-369, 1993.
- HENDERSON, F. M. Morphology and anatomy of palm seedlings. **The Botanical Review**, Heidelberg, v. 72, n. 4, p. 273-329, 2006.
- HOUAISS, A.; VILLAR, M. S. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009.
- IAWA COMMITTEE. Iawa list of microscopic features for hardwood identification. Repr. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 10, p. 219-332, 1989.
- ILVESSALO-PFÄFFLI, M. S. **Fiber atlas**: identification of papermaking fibers. Springer series in Wood sciences. Espoo: [s. n.], 1994. 399 p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Celulose e papel**: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2. ed. São Paulo, 1988. v. 1, 559 p.
- IONASHIRO, M.; GIOLITO, I. Nomenclatura, padrões e apresentação dos resultados em análise térmica. **Cerâmica**, São Paulo, v. 26, n. 121, p. 17-24, jan. 1980.
- ISNARD, S.; ROWE, N. P. The climbing habit in palms: biomechanics of the cirrus and flagellum. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 95, n. 12, p. 1538-47, 2008.
- ISNARD, S.; SPECK, T.; ROWE, N. P. Biomechanics and Development of the Climbing Habit in Two Species of the South American Palm Genus *Desmoncus* (Arecaceae). **American Journal of Botany**, Columbus, v. 92, n. 9, p. 1444-56, 2005.
- JARDIM, M. A. G.; STEWART, P. J. Aspectos da produção extrativista de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) no estuário amazônico. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, v. 12, n. 1, p. 137-144, 1994.

KALIMA, T.; JASNI. Study of *Calamus occidentalis* J. R. Witono ; J. Dransf. species commercial values and possible utilization. **Biodiversitas**, Belo Horizonte, v. 5, n. 2, p. 61-65, 2004.

KRISDIANTO. Radial variation in microfibril angle of super And common teak wood. **Journal of Forestry Research**, Colombo, v. 5, n. 2, p. 125-134, 2008.

LENEY, L. A technique for measuring fibril angle using polarised light. **Wood Fibre**, Washington, v. 13, p. 13–16, 1981.

LIMA, C. K. P. et al. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, Lavras, v. 13, p. 123-238, 2007.

LIMA JÚNIOR, U. B. **Fibras da semente do açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.): avaliação quanto ao uso como reforço de compósitos fibrocimentícios**. 2007. 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

LORENZI, H. et al. **Palmeiras no Brasil: exóticas e nativas**. Nova Odessa: Plantarum, 1996. 303 p.

MARTINS DA SILVA, R. C. V. **Coleta e identificação de espécimes botânicos**. Belém: Embrapa, 2002. 43 p. (Documentos, 143).

MAY, P. H. et al. Subsistence benefits from the babassu palm (*Orbignya martiana*). **Economic Botany**, Bronx, v. 39, p. 113-129, 1985.

MEDINA, J. C. **Plantas fibrosas da flora mundial**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1959.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of dicotyledons: wood structure and conclusion of the general introduction**. 2nd ed. Oxford: Claredon, 1989. 297 p.

MIRANDA, I. P. A. et al. **Frutos de palmeiras da Amazônia**. Manaus: Ministério de Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de pesquisa da Amazônia, 2001. 120 p.

MIRANDA, I. P. A.; RABELO, A. **Guia de identificação das palmeiras de Porto Trombetas/PA**. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2008. 365 p.

MOTTA, L. A. C.; AGOPYAN, V. **Caracterização de fibras curtas empregadas na Construção Civil**. São Paulo: EPUSP, 2007. 23 p. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP.

NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** 2005. 160 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da Madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003.

ÓRFÃO, J. J. M.; ANTUNES, F. J. A.; FIGUEIREDO, J. L. Pyrolysis kinetics of lignocellulosic materials: three independent reactions model. **Fuel**, London, n. 78, p. 349-358, 1999.

ORFÃO, J. J. M.; FIGUEIREDO, J. L. A simplified method for determination of lignocellulosic materials pyrolysis kinetics from isothermal thermogravimetric experiments. **Termochimica Acta**, Amsterdam, n. 380, p. 67-78, 2001.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 2nd ed. New York: MacGraw-Hill, 1964. 722 p.

PAULA, J. E. Anatomia e dendrometria de *Mimosa artemisiana* e *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 745-757, 1995.

PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de sete Espécies da Amazônia com vistas à produção de energia e papel. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 33, n. 2, p. 243-262, 2003.

PAULA, J. E.; SILVA JÚNIOR, F. G. Anatomia de madeiras indígenas com vistas à produção de energia e papel. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 12, p. 1807-1821, dez. 1994.

PAULA, L. E. R. et al. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, abr./jun. 2011.

PEREIRA S. J. et al. Morfologia e densidade básica das folhas de tucum (*Bactris inundata* M.) como fonte de fibras celulósicas para papel. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 39, 2002.

PÉREZ, J. A. **Propiedades físicas y mecânicas de la madera**. 2. ed. Mérida: Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, 2003.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 12. ed. Piracicaba: FEALQ, 1987. 467 p.

PINHEIRO, A. L.; CARMO, A. P. T. Contribuição ao estudo tecnológico da canela-azeitona, *Rapanea ferruginea* (ruiz e pav.) Mez, uma espécie pioneira. I. Características Anatômicas da madeira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 121-145, 1993.

QUIROZ, J. et al. Stem anatomical characteristics of the climbing palm *Desmoncus orthacanthos* (Arecaceae) under two natural growth conditions in a tropical Forest. **Revista de Biología Tropical**, San Jose, v. 56, n. 2, p. 937-949, 2008.

RAMOS, L. M. A. **Características anatômicas do lenho juvenil e adulto da Madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. 2011. 28 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2008. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 2 jan. 2012.

REIS, G. M.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Comparação de testes paramétricos e não paramétricos aplicados em delineamentos experimentais**. In: SIMPÓSIO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 3., 2007, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2007. Disponível em: <<http://www.mat.ufrgs.br/~viali/estatistica/mat2282/material/textos/SA03.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

RIBEIRO, A. O.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Características das dimensões das fibras e análise do ângulo microfibrilar de *Toona ciliata* cultivada em diferentes localidades. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 47-56, jan./mar. 2011.

ROWELL, R. M. Property enhanced natural fiber composite materials based on chemical modification. In: PRASAD, P. N. et al. (Ed.). **Science and technology of polymers and advanced materials: emerging technologies and business opportunities**. New York: Plenum, 1998. p. 717-732.

SALAZAR, V. L. P.; LEÃO, A. L. Biodegradação das fibras de coco e de sisal aplicadas na indústria automotiva. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 21, n. 2, p. 99 -133, 2006.

SANTOS, A. V.; FIGUEIRA, J. M. D. **Fibras vegetais para artesanato:** técnicas de produção de fibras de arumã, cipó ambé e tucumã. Manaus: FVA, AANA, [2000?]. 71 p.

SATYANARAYANA, K. G.; GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. **Composites**, Surrey, n. 38, p. 1694–1709, 2007.

SAVASTANO JÚNIOR, H. **Materiais a base de cimento reforçados com fibra vegetal:** reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo. 2000. 152 p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SEDLMEYER, F. B. Xylan as by-product of biorefineries: Characteristics and potential use for food applications. **Food Hydrocolloids**, Oxford, n. 25, p. 1891-1898, 2011.

SEYE, O.; CORTEZ, L. A. B.; GÓMEZ, E .O. Estudo cinético da biomassa a partir de resultados termogravimétricos. In: \_\_\_\_\_. **Energia no meio rural**. [S. l.:s. n.], 2003. Disponível em:< [http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000200022;script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000200022;script=sci_arttext)>. Acesso em: 16 ago. 2011.

SILVA, A. C. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose**. 2002. 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos:** métodos químicos e biológicos. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2002. 235 p.

SILVA, R. et al. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 661-671, 2009.

SILVA, R. J. F. **Anatomia foliar comparada em espécies de *Oenocarpus* Mart. (Arecaceae) de Belém, Pará, Brasil:** uma contribuição taxonômica. 2006. 91 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural da Amazônia e Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 2006.

SIMPSON, W.; TENWOLDE, A. Physical properties and moisture relations of wood. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook**: wood as an engineering material. Madison: U.S. Department of Agriculture, 1999.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.

STAM, A. J. Density of wood substance, adsorption by wood, and permeability of wood. **Journal of Physical Chemistry**, Ithaca, v. 33, n. 3, p. 398–414, 1929.

SULAIMAN, A.; LIM, S. C. Anatomical and physical features of 11-y-old cultivated *Calamus manan* in peninsular Malaysia. **Journal of Tropical Forest Science**, Kuala Lumpur, v. 3, n. 4, p. 372–379, 1991.

SUN, R.; LAWTHORP, J. M.; BANKS, W. B. Fractional and structural characterization of wheat straw hemicelluloses. **Carbohydrate Polymers**, Barking, n. 29, p. 325–331, 1996.

TIENNE, D. L. C. et al. Influência do espaçamento no ângulo das microfibrilas e comprimento de fibras de clone de eucalipto. **Revista Forestal Latinoamericana**, Mérida, v. 24, n.1, p. 67–83, 2009.

TIMOSHENKO, S. P. **Resistência dos materiais**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1966. v. 1.

TOMAZELLO FILHO, M.; AZZINI, A. Estrutura anatômica, dimensões das fibras e densidade básica de colmos de *Bambusa vulgaris* Schrad. **Revista IPEF**, Piracicaba, n. 36, p. 43–50, ago. 1987.

TOMLINSON, P. B. Architecture of tropical plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 18, p. 1–21, 1987.

TOMLINSON, P. B. Systematics and ecology of the Palmae. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 10, p. 53–84. 1979.

TOMLINSON, P. B. **The structural biology of palms**. Oxford: Clarendon, 1990. 465 p.

TOMLINSON, P. B. The uniqueness of palms. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 151, p. 5–14, 2006.

TROY, A. R.; ASHTON, P. M. S.; LARSON, B. C. A Protocol for measuring abundance and size of a Neotropical Liana, *Desmoncus polyacanthos* (Palmae), in Relation to Forest Structure. **Economic Botany, Bronx**, v. 51, n. 4, p. 339-46, 1997.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **GRIN Taxonomy for Plants: *Desmoncus polyacanthos* Mart.** Beltsville, 2010. Disponível em: <<http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?403911>> Acesso em: 30 mar. 2010.

URIARTT, A. A. A madeira como material de construção. In: BAUER, L. A. F. (Coord.). **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1994. p. 437-525.

VAN SOEST, P. J. Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forage. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 26, n. 1, p. 119-128, 1967.

VITAL, B. R. **Métodos para determinação do teor de umidade da madeira**. Viçosa, MG: SIF, 1997. 33 p. (Boletim técnico, 13).

WIMMER, R.; DOWNNESS, G. M.; EVANS, R. Temporal variation of microfibril angle in *Eucalyptus nitens* grown in different irrigation regimes. **Tree Physiology**, Victoria, v. 22, n. 7, p. 449-457, May 2002.

**ANEXOS**

## ANEXO A Autorização de acesso à Área de Proteção Ambiental da Margem Direita do Rio Negro



**SDS**  
Secretaria de Estado do Meio Ambiente e  
Desenvolvimento Sustentável



### AUTORIZAÇÃO Nº. 50/2010- CEUC/SDS

O Centro Estadual de Unidades de Conservação (CEUC) da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas (SDS), no âmbito de sua área de competência e considerando:

*A Lei Complementar Nº. 53, de 05 de junho de 2007, que instituiu o Sistema Estadual de Unidades de Conservação do Amazonas (SEUC/AM);*

*O artigo 43 do Capítulo VI da Lei do SEUC/AM, que trata das pesquisas científicas em unidades de conservação.*

**AUTORIZA** à execução de Pesquisa Científica em Unidade de Conservação Estadual de Uso Sustentável, a saber:

**1. UNIDADE (S) DE CONSERVAÇÃO CONTEMPLADA (S):**

➤ APA MD do Rio Negro.

**2. PROJETO:**

"Caracterização Tecnológica de Fibras de Estipe de Jacitara".

**3. PESQUISADOR (ES) AUTORIZADO (S):**

**4.**

| Nome                        | Instituição                    | Documento de Identificação |
|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Alessandra de Souza Fonseca | Universidade Federal de Lavras |                            |
| Fábio Akira Mori            | Universidade Federal de Lavras |                            |

**5. PERÍODO:**

➤ 15 de novembro de 2010 a 15 de fevereiro de 2011.

**6. NORMAS:**

- 5.1. O Centro Estadual de Unidades de Conservação (CEUC/SDS) mantém cooperação técnica com o INPA para depósito de material biológico originário das Unidades de Conservação (UC) estaduais. Dessa forma, solicitamos que duplicatas de exsicatas

**CENTRO ESTADUAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO AMAZONAS**  
Av. Mário Ypiranga Monteiro (antiga Recife), 3280. Parque Dez. 69.050-030. Manaus/AM  
Fone: (92) 3642-4330 – Ramais: 2021/2023 – Fax: (92) 3642-4607  
Web: <http://www.sds.am.gov.br>

1



**SDS**  
Secretaria de Estado do Meio Ambiente e  
Desenvolvimento Sustentável



botânicas coletadas sejam incorporadas ao Herbário dessa instituição para contribuir com o acervo de referência.

- 5.2. Recomenda-se apresentação do trabalho aos moradores das comunidades, antes do início das atividades: Com. Sobrado e Aracaci na APA e Bom Jesus do lado do PAREST Rio Negro Setor Norte.
- 5.3. O CEUC autoriza apenas o acesso às unidades de conservação estaduais, não autorizando a coleta de nenhum tipo de material ou objeto biológico. Coletas de qualquer natureza deverão ser respaldadas por autorização do órgão competente.
- 6.1. Esta autorização não elimina outras licenças exigidas por lei, de acordo com a natureza da atividade e/ou pesquisa;
- 5.4. Sugere-se a contratação de moradores locais para auxiliarem na execução de tarefa de campo.
- 5.5. Qualquer alteração no cronograma deverá ser comunicado ao Departamento de Pesquisas e Monitoramento Ambiental, e avisado ao gestor da UC para avaliação de acordo com a agenda da UC. Sendo assim, recomenda-se à pesquisa e a emissão de autorização ao interessado com validade de três meses, para a Unidade de Conservação APA Margem Direita do Rio Negro, podendo ser renovada, se necessário, mediante apresentação de relatório e justificativa.
- 5.6. Após término da pesquisa, deverão ser apresentados os resultados (relatório técnico, teses e demais publicações) em duas vias, uma impressa e outra em formato digital, ao CEUC. Estando também condicionada a renovação dessa autorização e emissão de novas;
- 5.7. Nas publicações deverá constar reconhecimento à referida unidade de conservação e à instituição a qual está vinculada.

**Gabinete do Centro Estadual de Unidades de Conservação do Amazonas**, em Manaus/AM, 09 de novembro de 2010.

  
**Domingos Macedo**

Coordenador do Centro Estadual de  
Unidades de Conservação do Amazonas

**CENTRO ESTADUAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO AMAZONAS**  
Av. Mário Ypiranga Monteiro (antiga Recife), 3280. Parque Dez. 69.050-030. Manaus/AM  
Fone: (92) 3642-4330 – Ramais: 2021/2023 – Fax: (92) 3642-4607  
Web: <http://www.sds.am.gov.br>

## ANEXO B Autorização de acesso à Área de Proteção Ambiental da Margem Direita do Rio Negro



Ministério do Meio Ambiente - MMA  
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA  
Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

### Comprovante de registro para coleta de material botânico, fúngico e microbiológico

|                            |                                   |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Número: 24656-1            | Data da Emissão: 12/07/2010 12:36 |
| Dados do titular           |                                   |
| Registro no Ibama: 4917447 | Nome: Alessandra de Souza Fonseca |
| CPF:                       |                                   |

#### Ressalvas

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | As atividades de campo exercidas por pessoa natural ou jurídica estrangeira, em todo o território nacional, que impliquem o deslocamento de recursos humanos e materiais, tendo por objeto coletar dados, materiais, espécimes biológicos e minerais, peças integrantes da cultura nativa e cultura popular, presente e passa da, obtidos por meio de recursos e técnicas que se destinem ao estudo, à difusão ou à pesquisa, estão sujeitas a autorização do Ministério da Ciência e Tecnologia.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 2 | A autorização ou licença do Ibama não isenta o pesquisador da necessidade de obter outras anuências, como: I) do proprietário, arrendatário, possessor ou morador quando as atividades de pesquisa forem realizadas em área de domínio privado; II) da comunidade indígena envolvida, ouvido o órgão indigenista oficial, quando as atividades de pesquisa forem executadas em terra indígena; III) do Conselho de Defesa Nacional, quando as atividades de pesquisa forem executadas em áreas indispensáveis à segurança nacional; IV) da autoridade marítima, quando as atividades de pesquisa forem executadas em águas jurisdicionais brasileiras, na plataforma continental ou na zona econômica exclusiva; V) da Fundação Palmares, quando as atividades de pesquisa forem executadas em áreas de Quilombolas; VI) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, quando da entrada e saída de material biológico do País; VII) do Departamento Nacional da Produção Mineral. |
| 3 | O material biológico coletado deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 4 | É necessário a obtenção de anuências previstas em outros instrumentos legais, bem como de consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 5 | Este documento não abrange a coleta de vegetais hidróbios, tendo em vista que o Decreto-Lei nº 221/1967 e o Art. 30 da Lei nº 9.605/1998 estabelecem a necessidade de obtenção de autorização para coleta de vegetais hidróbios para fins científicos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 6 | A autorização para envio ao exterior de material biológico não consignado deverá ser requerida por meio do endereço eletrônico <a href="http://www.ibama.gov.br">www.ibama.gov.br</a> (Serviços on-line - Licença para importação ou exportação de flora e fauna - CITES e não CITES). Em caso de material consignado, consulte <a href="http://www.icmbio.gov.br/sisbio">www.icmbio.gov.br/sisbio</a> - menu Exportação.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 7 | Este documento não é válido para: a) coleta ou transporte de espécies que constem nas listas oficiais de espécies ameaçadas de extinção; b) recebimento ou envio de material biológico ao exterior; e c) realização de pesquisa em unidade de conservação federal ou em caverna.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 8 | Este documento não dispensa o cumprimento da legislação que dispõe sobre acesso a componente do patrimônio genético existente no território nacional, na plataforma continental e na zona econômica exclusiva, ou ao conhecimento tradicional associado ao patrimônio genético, para fins de pesquisa científica, bioprospecção e desenvolvimento tecnológico.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 9 | As atividades contempladas nesta autorização NÃO abrangem espécies brasileiras constantes de listas oficiais (de abrangência nacional, estadual ou municipal) de espécies ameaçadas de extinção, sobreexploradas ou ameaçadas de sobreexploração.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

#### Taxons registrados

|                  |          |
|------------------|----------|
| Nível taxonômico | Taxon(s) |
| FAMÍLIA          | Palmeae  |

Este documento (Comprovante de registro para coleta de material botânico, fúngico e microbiológico) foi expedido com base na Instrução Normativa nº154/2007. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet ([www.icmbio.gov.br/sisbio](http://www.icmbio.gov.br/sisbio)).

Código de autenticação: 29882713



Página 1/1