



Universidade Federal do Amapá  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais



ORIMAX MONTEIRO CRUZ

MERCERIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DO FRUTO DO PATAUÁ,  
PALMEIRA DA AMAZÔNIA, PARA APLICAÇÃO EM BIOMATERIAIS

MACAPÁ - AP

2023

ORIMAX MONTEIRO CRUZ

MERCERIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DO FRUTO DO PATAUÁ,  
PALMEIRA DA AMAZÔNIA, PARA APLICAÇÃO EM BIOMATERIAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora: Dra. Lina Bufalino

Co-orientador: Dr. Matheus Cordazzo  
Dias

MACAPÁ - AP

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP  
Elaborado por Mário das Graças Carvalho Lima Júnior – CRB-2 / 1451

---

C957 Cruz, Orimax Monteiro.

Mercerização e caracterização das fibras do fruto do patauá, palmeira da amazônia, para aplicação em biomateriais / Orimax Monteiro Cruz. Macapá, - 2023.  
1 recurso eletrônico. 54 folhas.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Amapá - UNIFAP, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Macapá, 2023.  
Orientadora: Lina Bufalino.

Modo de acesso: World Wide Web.  
Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Biodiversidade - Amazônia. 2. Oenocarpus bataua. 3. biomateriais. I. Bufalino, Lina, orientadora. II. Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CDD 23. ed. – 577

---

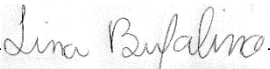
ORIMAX MONTEIRO CRUZ

MERCERIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DO FRUTO DO PATAUÁ,  
PALMEIRA DA AMAZÔNIA, PARA APLICAÇÃO EM BIOMATERIAIS


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Aprovada em 31 de Janeiro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

\_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_

Lina Bufalino – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

\_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_

Matheus Cordazzo Dias – Universidade do Estado do Amapá (UEAP)

\_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_

Lourival Marin Mendes – Universidade Federal de Lavras (UFLA)

\_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_

Mário Vanoli Scatolino – Universidade Federal do Semi-Árido (UFERSA)

\_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_

Marcela Gomes da Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

**Dedico este trabalho: A Deus, pelo Dom da Vida, Aos meus pais, pelo apoio e incentivo, e a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para que eu chegasse até o fim.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ser minha fortaleza em todos os momentos da minha vida, por me dar forças para seguir em frente e lutar pelos meus objetivos...

Sou grato a todos aqueles que, durante a minha jornada (vivência), me aconselharam a ser mais determinado, humilde e fraterno. Foram e são muitos os aprendizados que hoje integram o meu SER...

À Universidade Federal do Amapá - UNIFAP, e todo o corpo docente do curso de pós-graduação nível MESTRADO, pelo conhecimento repassado ao longo desta caminhada.

À minha família, mãe (in memória) - Lucimar Monteiro Cruz, que está sempre presente em minhas lembranças, ao meu pai - Hilário Cruz, agradeço pelo aprendizado constante. O sucesso deste projeto é reflexo de tudo o que foi compartilhado através de muitos momentos. A família sempre foi meu pilar de proteção, conselhos, exemplos e aprendizagem.

À minha orientadora, professora Dra. Lina Bufalino, pela paciência, ajuda, ensinamentos, dedicação e amizade ao longo destes anos. Sempre terei pela senhora uma grande admiração.

Ao meu co-orientador, professor Dr. Matheus Cordazzo Dias, por toda ajuda nas análises experimentais, pela compreensão e ajuda no desenvolvimento deste trabalho, me dando força, principalmente nos momentos de desânimo.

Agradeço, com muito carinho o meu amigo Edmilson dos Santos Morais, Doutorando do Curso de Inovação Farmacêutica da Universidade Federal do Amapá - UNIFAP, o qual sempre estive ao meu lado me apoiando, motivando e alegrando meus dias. Através dos estudos criamos um laço de amizade o qual desejo que continue para a vida toda.

Ao Doutorando do Curso de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal da Universidade Federal do Pará - UFPA, Dhimitrius Neves Paraguassú Smith de Oliveira pela ajuda nas análises no laboratório, na qual contribuiu para elaboração deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Biotecnologia da Amazônia - LABTAM, pertencente a Universidade do Estado do Amapá - UEAP pelas trocas de experiências, dicas, materiais e pela amizade durante esses dois anos de estudos.

Ao professor Dr. Tiago Marcolino de Souza por toda ajuda e ensinamento ao longo deste estudo.

Por fim, desejo profundamente que outras e inúmeras pessoas tenham a oportunidade de vivenciar o ramo da ENGENHARIA FLORESTAL de maneira tão rica como a mim foi proporcionado ao longo da minha caminhada universitária.

**MUITO OBRIGADO A TODOS!**

## RESUMO

CRUZ, O. M. **Mercerização e caracterização das fibras do fruto do patauá, palmeira da amazônia, para aplicação em biomateriais.** 54 f. Dissertação - Departamento de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2023.

O patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.) é uma palmeira pertencente à família botânica Arecaceae que ocorre em toda a Amazônia. De forma semelhante ao açaí, dos seus frutos se extrai uma polpa comestível, gerando um resíduo rico em fibras lignocelulósicas com potencial para aplicação em biomateriais. Sua modificação por tratamentos alcalinos pode torná-las ainda mais aptas para tal finalidade. O objetivo deste trabalho foi verificar o potencial das fibras de patauá naturais e mercerizadas para serem destinadas à produção de biomateriais nas condições natural e após tratamentos alcalinos com variação nas concentrações de NaOH (5 e 10%) e temperatura (80 e 100°C). A coleta do fruto do patauá foi realizada no município de Afuá localizado na região norte do Brasil. A caracterização morfológica se deu por microscopia de luz e microscopia eletrônica de varredura (MEV) sob diferentes condições. Foi determinada a composição química das fibras (teores de extrativos totais, cinzas, lignina solúvel e insolúvel, hemiceluloses e celulose). Os grupos químicos estruturais foram avaliados por espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). Para a caracterização física, foram determinadas a umidade, densidade aparente e absorção de água. O macerado revelou fibras individualizadas com morfologia típica alongada, extremidade fechada, relação comprimento/espessura média de  $\approx 40$  e espessura média da parede celular ( $4.10 \mu\text{m}$ ) maior do que a largura média do lúmen ( $3.01 \mu\text{m}$ ). Os tratamentos alcalinos individualizaram parcialmente as fibras dos feixes, limpam suas superfícies e desobstruíram pontuações superficiais. Adicionalmente, modificaram a composição química das fibras de patauá removendo substancialmente componentes não celulósicos, o que foi comprovado pelo FTIR. A densidade variou pouco entre os tipos de tratamento com NaOH, mas aumentou em relação às fibras naturais. Entretanto, as fibras passaram a absorver mais água. A mercerização pode potencializar as fibras de patauá para o desenvolvimento de bioprodutos, já que remove parcialmente componentes não celulósicos das fibras, aumentando sua rugosidade e diminuindo seu diâmetro. Independente do teor de NaOH, a temperatura de 100°C foi mais eficiente na modificação das fibras concentrando muito mais celulose.

Palavras-chave: Amazônia; palmeiras; *Oenocarpus bataua*; tratamento alcalino e biomateriais.



## ABSTRACT

CRUZ, O. M. **Mercerization and characterization of Patauá fruit fibers, Amazonian palm, for application in biomaterials.** 54 f. Dissertation - Department of Environment and Development, Federal University of Amapá, Macapá, 2023.

Patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.) is a palm tree belonging to the botanical family Arecaceae that occurs throughout the Amazon. Similar to açai, its fruits extract an edible pulp, generating a residue rich in lignocellulosic fibers with potential for application in biomaterials. Their modification by alkaline treatments can make them even more suitable for this purpose. The aim of this work was to verify the potential of natural and mercerized patauá fibers to be used in the production of biomaterials under natural conditions and after alkaline treatments with variations in NaOH concentrations (5 and 10%) and temperature (80 and 100°C). The collection of the patauá fruit was carried out in the municipality of Afuá located in the northern region of Brazil. Morphological characterization was performed by light microscopy and scanning electron microscopy (SEM) under different conditions. The chemical composition of the fibers was determined (contents of total extractives, ash, soluble and insoluble lignin, hemicelluloses and cellulose). Structural chemical groups were evaluated by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). For physical characterization, moisture, apparent density and water absorption were determined. The macerate revealed individualized fibers with typical elongated morphology, closed end, mean length/thickness ratio  $\approx 40$  and mean cell wall thickness (4.10  $\mu\text{m}$ ) greater than mean lumen width (3.01  $\mu\text{m}$ ). The alkaline treatments partially individualized the fibers of the bundles, cleaned their surfaces and unobstructed superficial pits. Additionally, they modified the chemical composition of patauá fibers, substantially removing non-cellulosic components, which was confirmed by FTIR. Density varied little between types of NaOH treatment, but increased in relation to natural fibers. However, the fibers began to absorb more water. Mercerization can enhance patauá fibers for the development of bioproducts, as it partially removes non-cellulosic components from the fibers, increasing their roughness and decreasing their diameter. Regardless of the NaOH content, the temperature of 100°C was more efficient in modifying the fibers, concentrating much more cellulose.

Keywords: Amazon; palm trees; *Oenocarpus bataua*; alkaline treatment and biomaterials.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>6</b>
<b>2. PROBLEMA</b> .....	<b>8</b>
<b>3. HIPÓTESES</b> .....	<b>8</b>
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
4.1. OBJETIVO GERAL .....	8
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
<b>5. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>9</b>
<b>5.1. Patauá: ocorrência, ecologia, morfologia e usos</b> .....	<b>9</b>
<b>5.2. Fibras naturais vegetais</b> .....	<b>12</b>
5.2.1. Morfologia e ocorrência nas plantas .....	13
5.2.2. Composição química: parede celular, celulose, hemiceluloses, lignina, extrativos e minerais .....	13
<b>5.3. Fibras de palmeiras</b> .....	<b>16</b>
<b>5.4. Tratamentos químicos de fibras mercerização e branqueamento</b> .....	<b>21</b>
<b>6. MATERIAL E METODOS</b> .....	<b>23</b>
<b>6.1. Coleta e preparo da matéria-prima de estudo</b> .....	<b>23</b>
<b>6.2. Tratamentos alcalinos das fibras</b> .....	<b>23</b>
<b>6.3. Caracterização Morfológica</b> .....	<b>23</b>
6.3.1. Microscopia de luz .....	23
<b>6.3.2. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</b> .....	<b>24</b>
<b>6.4. Caracterização química</b> .....	<b>24</b>
As análises de extrativos, cinzas, lignina solúvel, lignina insolúvel, holocelulose e celulose foram realizadas em triplicata.....	24
6.4.1. Extrativos totais.....	24
6.4.2. Análise de cinzas.....	25
<b>6.4.3. Teor de lignina insolúvel</b> .....	<b>25</b>
6.4.5 Teor de holocelulose .....	26
6.4.6 Teor de celulose .....	27
<b>6.5. Espectroscopia de infravermelho transformada de Fourier (FTIR)</b> .....	<b>27</b>
<b>6.6. Caracterização física</b> .....	<b>27</b>
6.6.1. Umidade .....	27
6.6.2. Densidade aparente .....	28
6.6.3. Absorção de água .....	28
<b>6.7. Análise estatística</b> .....	<b>29</b>
<b>7. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>30</b>
<b>7.1. Modificações morfológicas das fibras de patauá</b> .....	<b>30</b>

<b>7.2. Modificações das propriedades químicas das fibras de patauá .....</b>	<b>33</b>
<b>7.3. Modificações das propriedades físicas das fibras de patauá .....</b>	<b>36</b>
<b>8. CONCLUSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>9. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>41</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A Amazônia é a maior floresta tropical do mundo, apresentando diversas fontes de recursos naturais como alternativa para o desenvolvimento socioeconômico da região. Detém a maior reserva de biodiversidade do planeta e é de uma riqueza incalculável. Sua biodiversidade é pouco explorada em relação ao seu enorme potencial biotecnológico. Portanto, é essencial transformar esses recursos em produtos sustentáveis, sem causar danos ambientais (GROSS, 2016).

As palmeiras pertencem a uma das mais representativas famílias vegetais da região tropical, a *Arecaceae*. É um grupo facilmente reconhecível, fazendo parte da composição da paisagem natural e que apresenta grande importância ecológica e econômica. Adicionalmente, é fonte de diversas matérias-primas para geração de produtos florestais não madeireiros (PFNMs), sendo amplamente utilizada pela população local, tanto para fins de alimentação, como para cobertura de moradias, construção de residências, ornamentação e outros (HENDERSON, 1995).

O patauá (*O. bataua* Mart.) é uma palmeira pertencente à família botânica *Arecaceae* que ocorre em toda a Amazônia (HENDERSON et al., 1995). O nome do gênero do patauá é uma alusão à sua utilização mais tradicional, a fabricação de sucos (denominados regionalmente de vinhos), de modo que oinos = vinho e karpos = fruto (BALICK, 1986). Esse nome foi atribuído à essa palmeira por naturalistas que observaram, há quase dois séculos, a utilização dos seus frutos na produção de sucos nutritivos (BALICK, 1988). Em épocas de entressafra do açaí, moradores do interior do Pará consideram o patauá um substituto para alimentação local. Após o processamento para obtenção da polpa, é gerado o resíduo constituído da semente recoberta por fibras superficiais de natureza lignocelulósica, com potencial para aplicação em biomateriais. Estudos com fibras naturais aumentaram no início da década de 90 devido às exigências das autoridades legislativas quanto ao uso e destino de fibras sintéticas e resinas derivadas do petróleo, bem como a maior conscientização dos consumidores em preservar o ambiente (SILVA, 2003). Assim, um dos potenciais aproveitamentos de fibras naturais residuais se trata da sua destinação para a produção de diversos biomateriais, tais como papel (SANTOS, 2012), nanofibras de celulose (MONTEBELLO; BACHA, 2013), biocompósitos (CALEGARI et al., 2015) e energia (MARQUES; PINTO, 2013).

Atualmente, o uso de resíduos agroflorestais para produzir biomateriais é um tema relevante. As fibras vegetais são ricas em celulose, apresentam baixa densidade, são econômicas, amplamente disponíveis, biodegradáveis, não abrasivas, e atóxicas. No entanto, a falta de boa adesão interfacial entre as fibras e matriz e sua hidrofobicidade tornam o seu uso como reforço em compósitos menos atraentes. Já para a produção de nanofibrilas de celulose é importante

remover grande parte dos componentes não-celulósicos, mas sem danificar a morfologia das fibras. Algumas dessas limitações, que dificultam as aplicações de fibra e/ou processamento em materiais de engenharia, podem ser superadas por pré-tratamentos superficiais, que podem modificar as características morfológicas e químicas das fibras (OLIVEIRA, 2019).

Um estudo prévio reportou que, quando submetidas a tratamento alcalino com NaOH a 5% e a 80°C, as fibras do mesocarpo do patauá apresentaram individualização parcial dos feixes, aumento do índice de cristalinidade e limpeza parcial de impurezas superficiais, melhorando seu potencial para aplicação em compósitos (CRUZ et al., 2019). Tais como as fibras do resíduo do açai, as fibras do resíduo do patuá estão no mesocarpo, sendo que ambas as espécies pertencem à família Arecacea. As fibras do açai apresentaram modificações mais eficazes que as do patauá quando submetidas a tratamentos com 10% de NaOH e a 100°C. Portanto, as modificações parciais nas fibras do patauá precisam ser intensificadas testando-se novos parâmetros de tratamentos alcalinos, tais como temperaturas de tratamento e concentração do reagente.

## **2. PROBLEMA**

As fibras do resíduo do patauá tem potencial para a produção de biomaterias e podem ser melhoradas com tratamentos alcalinos?

## **3. HIPÓTESES**

As seguintes hipóteses serão propostas:

- As fibras do resíduo do patauá podem ser modificadas por pré-tratamentos químicos para se tornarem aptas à produção de biomateriais;

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GERAL**

Verificar o potencial das fibras de patauá naturais e mercerizadas para serem destinadas à produção de biomateriais.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar as fibras do mesocarpo do patauá naturais;
- Investigar os efeitos dos de pré-tratamentos alcalinos combinando duas temperaturas (80 e 100°C) e com duas concentrações de reagentes (5 e 10%) nas propriedades das fibras do mesocarpo do patauá;
- Analisar os potenciais de aplicação das fibras naturais em comparação com as tratadas.

## 5. REVISÃO DA LITERATURA

### 5.1. Patauá: ocorrência, ecologia, morfologia e usos

A floresta amazônica é o maior reservatório natural da diversidade vegetal do planeta, onde cada um de seus diferentes ambientes possui um contingente florístico rico, variado e muitas vezes exclusivo. As múltiplas inter-relações entre seus componentes bióticos e abióticos formam um conjunto de ecossistemas altamente complexos e de equilíbrio ecológico extremamente frágil (OLIVEIRA; AMARAL, 2004).

Este bioma abriga muitas espécies de palmeiras cujos frutos são consumidos pela população local e difundidos na economia local nos mercados de rua, mas frequentemente desconhecidos pela população geral. Dentre as diversas palmeiras nativas da região amazônica, as espécies do gênero *Oenocarpus* spp. estão entre as mais exploradas pelo extrativismo devido ao seu grande potencial econômico, ecológico e dietético (MOSCOSO et al., 2013; PEREIRA et al., 2013). A composição dos frutos de espécies do gênero *Oenocarpus* spp. é bastante ampla (CARVALHO et al., 2016).

A espécie *Oenocarpus bataua* Mart. é popularmente conhecida na Amazônia brasileira como patauá, patoá ou patuá, dependendo da região (Figura 1). Tem outros nomes populares como jagua ou majo no Suriname, sacumana no Peru, pataba na Colômbia, palma real, curuba e aricagua na Venezuela, balawa no Caribe, chapil no Equador, palavona na Guiana Francesa, Patawá na Guiana Inglesa e como yagua em Trindade (GOMES-SILVA et al., 2004). As maiores concentrações dessas palmeiras ocorrem principalmente em regiões de alta pluviosidade, mas também podem ser encontradas nas regiões onde os períodos de seca são mais prolongados (HENDERSON et al., 1995).



Figura 1 - Mapa de distribuição de patauá (HENDERSON, 1995).

A espécie se propaga por sementes, que germinam em períodos que variam de 44 a 52 dias após a semeadura. Essas variações de tempo podem ocorrer por inúmeros fatores, tais como tipo de substrato usado, quantidade e qualidade de luz, temperatura e umidade durante os testes de germinação, além das diferenças genéticas e o tempo passado entre a maturação e a coleta dos frutos. Os frutos servem de alimentos para muitos animais como o porcão (*Tayassu tajacu*) e o porquinho (*Tayassu pecari*) que, ao se alimentarem, destroem as sementes (BALICK; GERSHOFF, 1981). A dispersão é zoocórica realizada principalmente por aves e mamíferos como a anta (*Tapirus terrestres*), o veado (*Mazama americana*), macaco-prego (*Cebus apella*), tucano (*Ramphastos cuvieri*) e a arara (*Ara militares*) (GOMES-SILVA et al., 2004). A Figura 2 demonstra o desenvolvimento da espécie do patuá na qual é identificada sua estrutura.

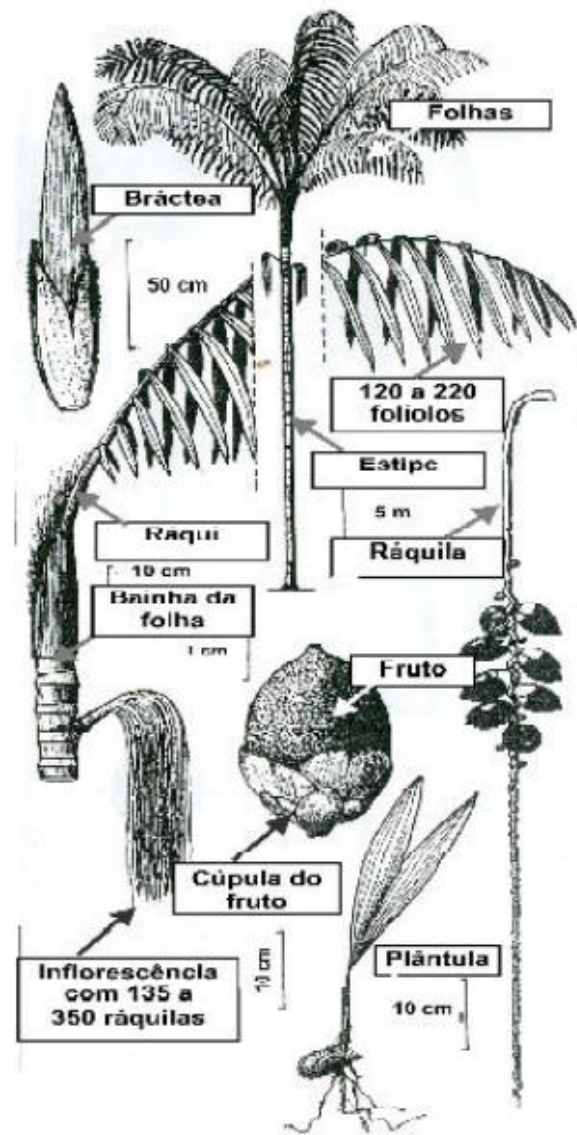


Figura 2 - Estruturas morfológicas do patuá (MORI et al., 1997).



Cresce durante muitos anos na sombra da floresta, porém, quando adulta, a palmeira precisa de bastante luz. Pode atingir até 25 metros de altura, possui apenas um caule e folhas muito grandes, que podem alcançar mais de 10 metros. As flores e frutos ficam arrumados em forma de “rabo-de-cavalo” (Figura 3). Em terra firme, é encontrada de forma dispersa com 1 a 2 plantas adultas por hectare, mas na várzea e igapó pode tornar-se dominante com 100 plantas adultas em 1 hectare (BALICK, 1988).

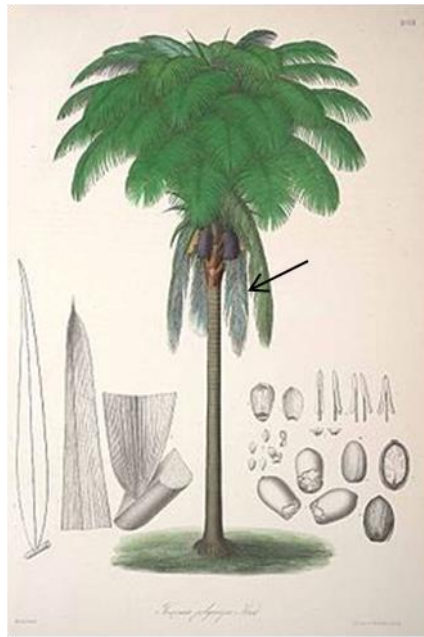


Figura 3 - Arranjos das flores e frutos do patauá (em destaque) (GOMES-SILVA et al., 2004).

Os frutos têm um formato redondo-ovalado, possuem epicarpo liso, de cor púrpura e escura. Quando maduros, medem de 2,5 a 3,5 cm de comprimento. Na base se conserva uma cúpula endurecida que se forma a partir do perianto que acompanha o seu crescimento. Há uma tênue camada cerosa e esbranquiçada que recobre o perianto. O mesocarpo é succulento e oleoso de cor branca, verde ou rosada púrpura e mede de 1 a 3 mm de espessura (Figura 4a). A única semente (Figura 4b) contém um endosperma ruminado recoberto por fibras achatadas e endosperma córneo (BALICK, 1988).



Figura 4 - Patauá: Frutos (a) e sementes (b) (HIDALGO et al., 2016).

A polpa do patauá contém alta concentração de vitamina E (DARNET et al., 2011). As folhas da palmeira são usadas na construção de casas e o estipe é empregado na construção de pontes e hortas (GOMES-SILVA et al., 2004).

## 5.2. Fibras naturais vegetais

A produção mundial das fibras sintéticas é maior que a produção das fibras naturais, mas devido ao seu impacto socioeconômico e à busca por um modelo de desenvolvimento sustentável, diversos pesquisadores têm se dedicado ao estudo da utilização de fibras naturais vegetais (OLIVEIRA, 2013).

As fibras naturais são recursos renováveis por excelência, que absorvem a mesma quantidade de dióxido de carbono que produzem, caso carbonizadas ou biodegradadas. O interesse na utilização de fibras vegetais por diferentes segmentos da indústria é crescente e aquelas oriundas de palmeiras amazônicas podem se tornar uma importante matéria-prima alternativa. No estado do Amazonas, por exemplo, muitas famílias que vivem ao longo da bacia do Rio Negro complementam sua renda com extrativismo de fibras vegetais, além de utilizá-las para confecção de artefatos e utensílios domésticos utilizados no cotidiano diário (GOES et al., 2015).

A utilização das fibras naturais amazônicas colabora tanto para diminuição do consumo de energia como também para promoção da atividade rural nas comunidades ribeirinhas da região. As fibras de malta e juta, por exemplo, têm despertado interesse porque não se consome energia elétrica para sua produção (GOES et al., 2015).

O tipo de fibra (aço, plástico vidro e matérias naturais), sua forma e tamanho, sua fração volumétrica (baixa, moderada e alta) e sua dosagem têm efeito significativo nas propriedades dos materiais que são desenvolvidos com elas (FIGUEIREDO, 2011).

#### 5.2.1. Morfologia e ocorrência nas plantas

Fibras naturais, também chamadas de fibras lignocelulósicas ou vegetais, morfologicamente são células tipicamente esclerenquimatosas, ou seja, células com paredes secundárias, normalmente lignificadas, cujas principais funções são mecânicas e de sustentação. São células alongadas, com comprimento superior ao diâmetro ou largura, e de extremidades afiladas (EVERT, 2013).

As fibras naturais vegetais são obtidas de diferentes partes das plantas, como caule, folha e sementes ou frutos. Algumas fibras obtidas de caules são, na verdade, feixes de fibras individuais (células) unidos lateralmente resultando em uma estrutura fibrilar maior. Fibras de juta, malva, linho, cânhamo são exemplos desse tipo (MELO-FILHO, 2012).

Os quatro tipos principais de fibras de acordo com sua origem são: fibras liberianas, fibras de madeira, células esclerenquimatosas associadas com os fios do feixe vascular em folhas e fibras de superfície que são pelos protuberantes nas sementes das plantas (LEGNER, 2011).

Fibras das folhas, como o sisal e a banana, possuem diâmetro superior aos das fibras provenientes do caule. O algodão é um exemplo de fibra de sementes e a fibra de coco é proveniente do fruto. Há ainda outras fontes de lignocelulósicos, como os resíduos agrícolas, incluindo a casca de arroz, casca da semente de girassol e do bagaço da cana de açúcar (MELO-FILHO, 2012).

#### 5.2.2. Composição química: parede celular, celulose, hemiceluloses, lignina, extrativos e minerais

A parede celular das fibras vegetais (Figura 5) é formada por camadas complexas denominadas parede primária, que é delgada, e parede secundária, que é mais espessa. A parede primária é gerada durante o crescimento celular antes da parede secundária. A parede secundária é composta por três subcamadas: subcamada secundária externa S1, subcamada secundária média S2 e subcamada secundária interna S3. A subcamada S2 possui maior espessura e determina as propriedades mecânicas da fibra (CARVALHO et al., 2009; SILVA et al., 2009).

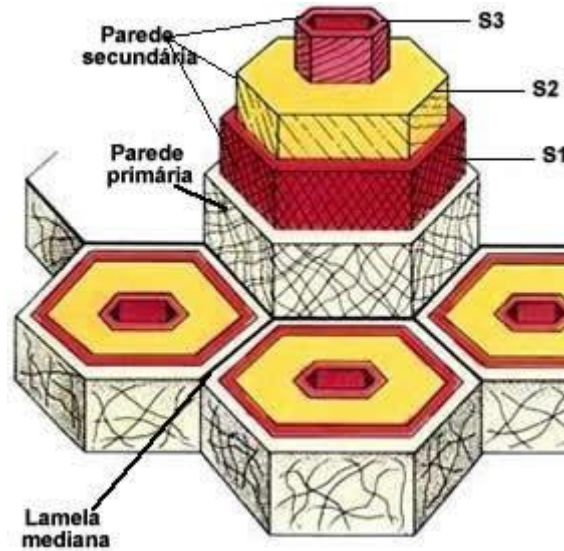


Figura 5 - Estrutura celular das fibras vegetais (CARVALHO et al., 2009).

A celulose é o principal componente estrutural das fibras lignocelulósicas, uma vez que fornece resistência e estabilidade para as paredes celulares e à fibra como um todo. É o componente mais abundante da parede celular, tratando-se de um polímero linear composto por D-glucoses unidas por ligações  $\beta$ -1,4 – glicosídicas (Figura 6). As hidroxilas presentes em sua estrutura estabelecem ligações de hidrogênio intermolecular e intramolecular. Portanto, a celulose forma microfibrilas de celulose que apresentam regiões cristalinas e amorfas, adquirindo assim insolubilidade a alguns solventes orgânicos e a água (AGUIAR et al., 2011; ARANTES; SADDLER, 2010).

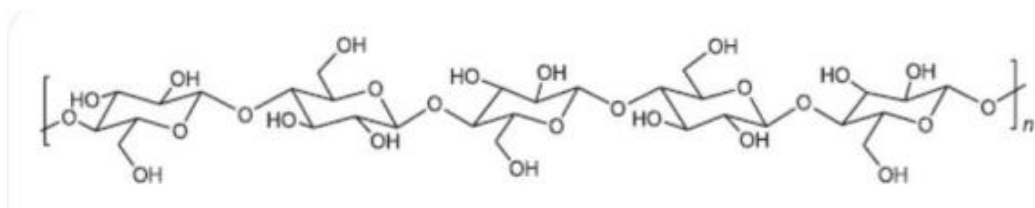


Figura 6 - Estrutura molecular da celulose (SANTOS et al., 2012).

A celulose e hemiceluloses são hidrofílicas, enquanto a lignina e substâncias extrativas, em sua maioria, são hidrofóbicas. As hemiceluloses também denominadas polioses são polissacarídeos compostos por pentoses, hexoses e ácidos urônicos polymerizados (Figura 7). Apresentam em suas estruturas considerável grau de ramificação, massa molar relativamente baixa em comparação aos demais componentes estruturais, elevada hidroflicidade e ausência de cristalinidade (CARVALHO et al., 2010). Essas características acentuam sua capacidade de

degradação fazendo com que sua taxa de decomposição térmica seja superior à da celulose. As estruturas ramificadas das hemiceluloses reagem facilmente com a celulose proporcionando-lhe estabilidade e maleabilidade, além de atuar como agente de acoplamento entre a lignina e a celulose (SANCHEZ et al., 2010; VELOSO et al., 2013).

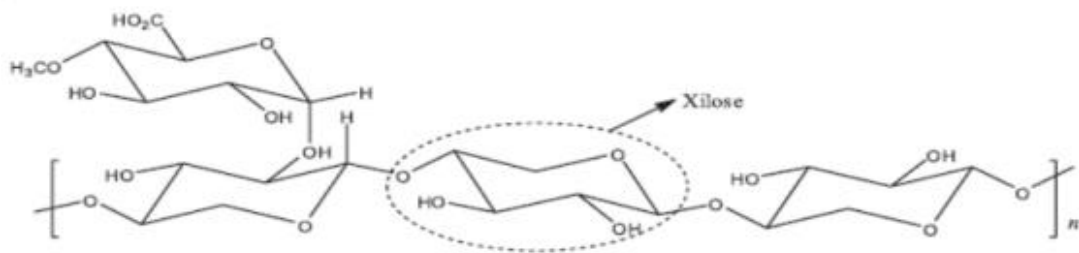


Figura 7 - Estrutura molecular das hemiceluloses (SANTOS et al., 2012).

A lignina é o segundo componente mais abundante da parede celular das plantas (Figura 8). Possui uma estrutura tridimensional polifenólica, altamente ramificada, composta por várias unidades de fenilpropano (álcool *p*-cumarílico, álcool coferílico e álcool sinapílico) dispostas de forma irregular (MESCHÉDE et al., 2011; MONTEIRO et al., 2012). A lignina confere rigidez à parede celular, pois atua como agente fixador entre as células. É um componente amorfo, com alta massa molar e apresenta comportamento hidrofóbico, o que auxilia na redução da permeabilidade da parede celular. A lignina também é responsável por proteger a célula de microrganismos e pela resistência à compressão suportada pela planta, o que permite seu crescimento e desenvolvimento (SANTOS et al., 2012; ZANUNCIO; COLODETTE, 2011).

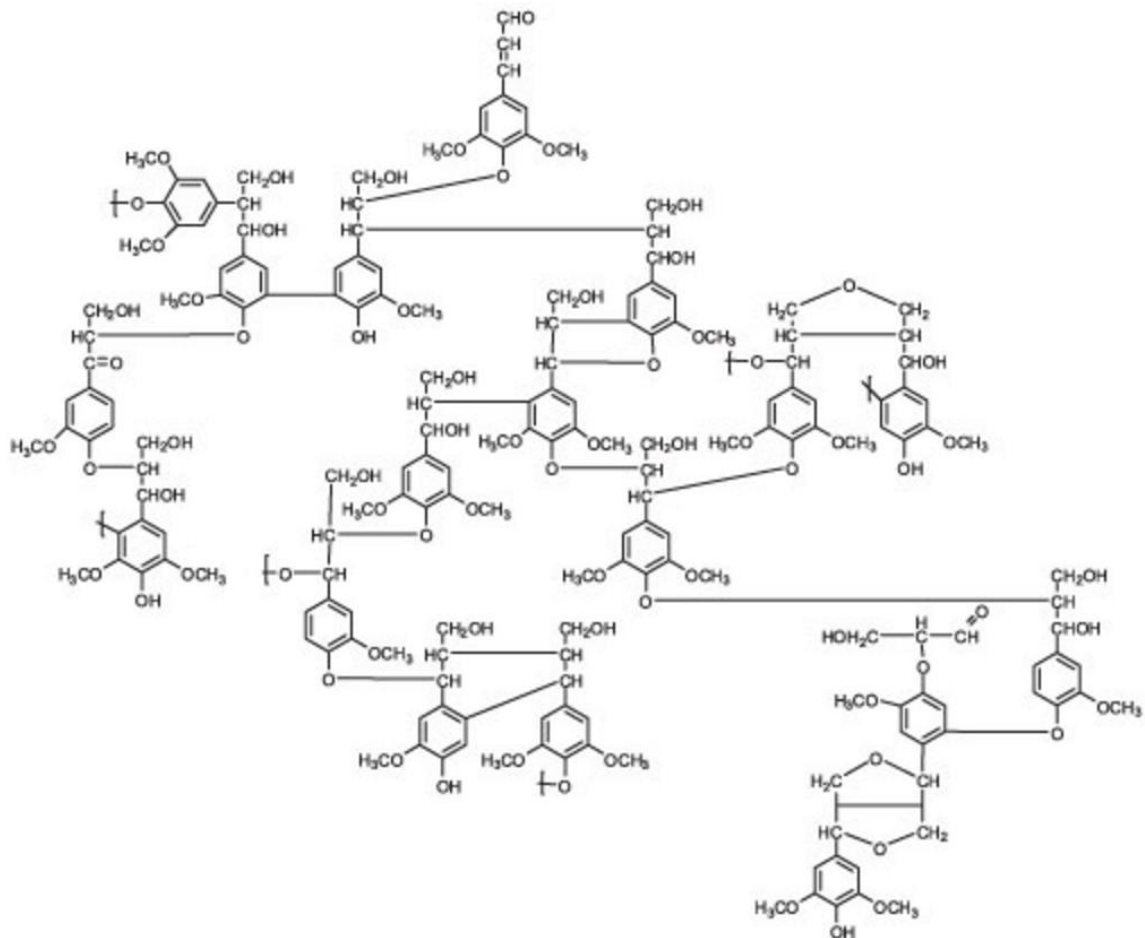


Figura 8 - Estrutura molecular da lignina (SANTOS et al., 2012).

Os extrativos orgânicos são componentes da biomassa não pertencentes à estrutura da parede celular, de baixo ou médio peso molecular, extraíveis em água e, ou, solventes orgânicos neutros. Alguns extrativos, porém, podem ser de peso molecular relativamente alto, como os taninos. Os extrativos atuam como componentes complementares e apresentam grande variabilidade em sua quantidade e constituição dependendo da espécie e localização na planta e origem (FREDERICO, 2009).

As substâncias inorgânicas, também denominadas cinzas após combustão, correspondem aos componentes minerais encontrados na planta, havendo ampla variação na sua quantidade entre espécies e no próprio indivíduo vegetal (ANDRADE, 2006).

### 5.3. Fibras de palmeiras

Existem diversas palmeiras que apresentam fibras de interesse comercial. Por exemplo, a fibra de curauá (*Ananas erectifolius*) é um material atrativo, econômico, de baixo custo e elevada maciez, apresentando assim, uma densidade baixa (Figura 9). Além disso, tem uma

microestrutura que pode auxiliar nos filamentos de matrizes poliméricas e que possibilita a fabricação dos materiais compósitos, construção civil, moveleira e entre outros (LUZ; LENZ, 2011).



Figura 9 - Fibras de Curauá (PINTO, 2019).

A produção da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) é abundante na região norte do Brasil, onde uma grande quantidade de resíduos é gerada (Figura 10). Um trabalho prévio reportou modificações das fibras desse resíduo pela aplicação de tratamento alcalino em quatro condições: NaOH 5% a 80°C, NaOH 5% a 100°C, NaOH 10% a 80°C e NaOH 10% a 100°C. A cristalinidade das fibras naturais foi baixa, 43%, mas todos os tratamentos alcalinos resultaram em aumento desse índice que variou de 56% a 65%. Entretanto, ocorreu uma diminuição dos índices de cristalinidade para as fibras tratadas a 100°C em relação às tratadas com a temperatura mais amena de 80°C. Além disso, foi verificado que a separação de feixes em fibras individuais resulta numa redução dos diâmetros das estruturas. Entretanto, houve apenas separação de feixes de maior diâmetro em feixes de menor diâmetro, pois as estruturas menores tiveram diâmetro final inferior ao comumente encontrado para outras fibras da literatura. Deve-se destacar que o tratamento com 10% de NaOH a 80°C, foi o que reduziu mais o diâmetro médio dos feixes de fibras (DE OLIVEIRA et al., 2019).



Figura 10 - Fibras do açáí (LIMA JÚNIOR, 2007).

O revestimento exterior de material fibroso do coco (*Cocos nucifera* L.) maduro corresponde à casca e é o rejeito da fruta (Figura 11). As fibras consistem principalmente de celulose, hemiceluloses, lignina, pectina e outras substâncias solúveis em água, além de ceras. O alto conteúdo de lignina permite que a degradação da fibra de coco ocorra muito mais lentamente que outras fibras vegetais. As características da fibra, como coloração uniforme, elasticidade, durabilidade e resistência à tração e à umidade, oferecem muitas possibilidades de utilização como matéria-prima natural para a indústria na fabricação de xaxins, esteiras, cordas, tapetes, escovas e vassouras (HEJAZI et al., 2012).

A grande quantidade de coco disponível propicia a utilização de suas fibras para diversas finalidades. Dentre elas, a incorporação (através de adição) em matrizes de cimento portland vem sendo bastante estudada para melhorar as propriedades mecânicas dos compósitos (SAVASTANO JÚNIOR, 2000).





Figura 11 - Fibras do coco (DOS SANTOS, 2018).

A Palmeira-real (*Archontophoenix cunninghamiana*) apresenta semelhanças básicas como quaisquer outras espécies do mundo vegetal, com raízes, troncos, folhas, flores e frutos (Figura 12). As fibras da Palmeira-real podem ser obtidas do cacho, folha ou caule (ISHAK et al., 2013). Após a extração do palmito, uma grande quantidade de fibra é lançada no meio ambiente como resíduo (SCHMITZ et al., 2019). Com o beneficiamento do palmito da Palmeira-real, são produzidos gerados os produtos comerciais, o palmito, as folhas e a bainha. A parte comercial representa cerca de 8% da planta do palmito, sendo o restante resíduos (BAYÃO, 2013).



Figura 12 - Palmeira-real (SÁ, 2019).

O buriti (*Mauritia flexuosa* L.F.), é uma das palmeiras mais amplamente distribuídas no território nacional e é considerada a palmeira símbolo do cerrado (Figura 13). Do buriti tudo se aproveita: as folhas são fonte de fibras para artesanato e a palmeira toda pode ser utilizada como ornamentação, cumprindo assim um papel muito importante nas tradições e identidade cultural de muitas comunidades indígenas e povos tradicionais (BITAR; ALCÂNTARA, 2015). As

folhas mais novas da palmeira de buriti denominadas “olho” ou “ponteira”, são utilizadas para retirar a fibra chamada de “linho do buriti”, tida como nobre por ser delicada e resistente. Desta fibra, são fabricados produtos artesanais que são extremamente finos e delicados. Os mais comuns são leques, esteiras, redes, chapéus, toalhas, bolsas e cordas. Seus traços característicos são identificadores da cultura desenvolvidas em torno dessa palmeira, principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (SARAIVA, 2009).



Figura 13 - Palmeira buriti (SALES, 2016).

As fibras de patauá (*O. bataua* Mart.) foram submetidas ao tratamento alcalino e apresentaram modificação de superfície devido à remoção de impurezas não-celulósicas (Figura 14). Deve-se notar que o tratamento alcalino tornou as fibras individuais frouxas umas das outras, mas não completamente separadas. Ressalta-se que nem a largura nem o comprimento apresentado pelas unidades fibrosas do patauá correspondem com certeza às células fibrosas individuais, o que demandaria análise microscópica (CRUZ et al., 2019).



Figura 14 - Fibras de patauá (CRUZ et al., 2019).

#### 5.4. Tratamentos químicos de fibras mercerização e branqueamento

Ao se trabalhar com fibras vegetais, sempre há uma preocupação sobre o seu comportamento final nos biomateriais. Em alguns estudos, a fibra *in natura* é degradada formando fissuras, devido ao ataque químico dos componentes da matriz à lignina e às hemiceluloses. Já para a produção de nanofibras de celulose, os pré-tratamentos são necessários para remoção de componentes não celulósicos e individualização das fibras unidas em feixes (SGRICCIA, 2008; ZULUAGA, 2009).

Existem várias opções de tratamentos para modificação de fibras na literatura. Um deles é o alcalino, também conhecido como mercerização. Constitui-se basicamente de imersão da fibra em solução aquosa de NaOH e, às vezes, aplica-se também forte agitação mecânica. Neste processo pode ocorrer parcialmente a remoção de lignina, hemiceluloses e outros componentes não celulósicos da fibra. Dependendo das condições, a remoção pode ser desde branda à completa. Fatores como concentração da solução, proporção fibra/solução, tempo de exposição e temperatura são bastante estudados (DE OLIVEIRA et al., 2019; GHALI, 2009; QIN, 2008; SGRICCIA, 2008; ZULUAGA, 2009).

Outro tratamento, utilizado em indústrias de papel e celulose, é o branqueamento para remoção de traços de componentes não-celulósicos das superfícies das fibras que não foram completamente removidos pelo tratamento alcalino. Ao se aplicar peróxido de hidrogênio a fibra ganha valor, pois há eliminação de componentes que conferem a cor natural. Dependendo das condições, a fibra pode conter alguns traços de resíduos, como de hemiceluloses e lignina, mesmo após branqueamento. Vários fatores, tais como o uso de outros reagentes de branqueamento, a concentração, o tempo de exposição e a temperatura de tratamento influenciam a qualidade final da fibra (BECKERMANN, 2008; SGRICCIA, 2008; ZULUAGA, 2009).

Foi relatado que o pré-tratamento das fibras de cânhamo com água quente foi capaz de remover parcialmente as hemiceluloses, melhorando seu desempenho como reforços dos biocompósitos ligados ao amido de milho (ARUNAS et al., 2019).

Os compósitos à base de cimento apresentam melhor desempenho quando uma quantidade substancial de componentes não celulósicos é removida das fibras, incluindo a lignina, pois estes componentes são incompatíveis com a matriz de cimento (DA SILVA CÉSAR et al., 2019). Outras aplicações, como a produção de nanocelulose, exigem a remoção de componentes não celulósicos para expor as microfibrilas de celulose e reduzir os custos de energia durante a nanofibrilação (BUFALINO et al., 2015; EHMANN et al., 2016; SPENCE et al., 2011).

No geral, pré-tratamentos alcalinos com NaOH, que seguem pressupostos semelhantes usados na polpa kraft de madeira. São métodos estabelecidos para modificação de fibras vegetais que limpam efetivamente a cera e a graxa de sua superfície e removem parcialmente as hemiceluloses e lignina. As hemiceluloses são muito solúveis em baixas concentrações de álcalis; portanto, facilmente removidas por pré-tratamentos com NaOH. O pré-tratamento alcalino também causa a quebra dos feixes de fibras em fibras menores, o que é atribuído à remoção parcial de lignina (BUFALINO et al., 2015).

Uma investigação com fibras de piassava mostrou que os pré-tratamentos com água quente removeram as impurezas da superfície da fibra, enquanto a lignina foi removida apenas por uma solução alcalina. Além disso, comparando os pré-tratamentos com NaOH e  $\text{Ca(OH)}_2$ , os autores verificaram que o primeiro foi mais eficaz na promoção da desfibrilação e aumento do índice cristalino da fibra de piassava (SANTOS et al., 2018).

A eficiência dos pré-tratamentos com NaOH depende consideravelmente dos parâmetros operacionais, como temperatura, concentração de NaOH, tempo de reação e características inerentes à biomassa utilizada (BUFALINO et al., 2015).

Além da forma, o tratamento alcalino das fibras de patauá resulta na modificação da superfície envolvendo a remoção de impurezas superficiais, mostrando significativas diminuição da largura, comprimento e densidade básica (CRUZ et al., 2019).

## 6. MATERIAL E METODOS

### 6.1. Coleta e preparo da matéria-prima de estudo

A coleta do fruto do patauá foi realizada no município de Afuá, estado do Pará, localizado na região norte do Brasil, a uma latitude de (00°09'12") sul e longitude (50°23'12") oeste. Os resíduos do processamento dos frutos do patauá foram obtidos de amassadeiras situadas nos bairros Cidade Nova I e Perpétuo Socorro, em Macapá, capital do Amapá. A lavagem do resíduo pós-processamento foi conduzida em água destilada. A retirada das fibras das sementes do patauá foi realizada de forma manual.

### 6.2. Tratamentos alcalinos das fibras

Previamente aos tratamentos químicos, 10 g de fibras foram imersas em 1000 mL água destilada por 24 h com intuito de iniciar sua saturação e diminuir seu volume. Duas temperaturas e duas concentrações de hidróxido de sódio (NaOH) foram combinadas para as modificações químicas (Tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros para modificação química das fibras.

Tratamentos	NaOH (%)	Temperatura (°C)
5%_80C	5	80
10%_80C	10	
5%_100C	5	100
10%_100C	10	

Para modificação química, foi utilizada uma proporção de 10 g de fibras previamente saturadas para 1000 mL de solução. As soluções aquosas de NaOH foram aquecidas até as temperaturas de estudo (80 ou 100°C) utilizando uma placa de aquecimento e a temperatura foi controlada com auxílio de um termômetro. Ao atingir a temperatura desejada, as fibras foram imersas nas soluções e mantidas sob agitação mecânica por 1 h. Em seguida, as amostras foram lavadas com água corrente até pH neutro.

### 6.3. Caracterização Morfológica

#### 6.3.1. Microscopia de luz

As fibras de todos os tratamentos foram imersas e coradas em uma solução composta por 5 ml de água destilada, 1 mL de glicerina e 4 gotas de safranina hidroalcoólica. Para cada tratamento, foram confeccionadas duas lâminas provisórias. Foi realizada a maceração das fibras naturais, que consiste na individualização das células mediante a dissolução da lamela média, de acordo

com o método de Franklin (FRANKLIN, 1945). As fotos das lâminas temporárias foram tiradas com microscópio óptico Motic (BA310Elite). Para as fibras maceradas, foram medidos comprimento da fibra, largura da fibra, largura do lume e espessura da parede. Foram medidas 60 fibras, ou seja, acima de 50, o mínimo estabelecido pela norma da International Association of Wood Anatomists (IAWA, 1989). Todas as variáveis foram medidas com o auxílio do programa Motic Imagens Plus 3.0.

#### 6.3.2. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As amostras foram espalhadas sobre fitas adesivas de carbono dupla-face, previamente coladas sobre o porta-amostras de alumínio (stubs). As micrografias de MEV foram obtidas por um microscópio eletrônico de varredura JMS 6510 (JEOL®) com uma voltagem de 10 kV.

### 6.4. Caracterização química

As análises de extrativos, cinzas, lignina solúvel, lignina insolúvel, holocelulose e celulose foram realizadas em triplicata.

#### 6.4.1. Extrativos totais

As amostras foram submetidas a extração em extratores Soxhlet seguindo a norma TAPPI T204 cm-17 (TAPPI, 2017), a fim de remover extrativos orgânicos solúveis em tolueno/etanol (1:1 v/v), etanol e água. Cada amostra foi pesada em cadinho de placa porosa de vidro previamente secos e tarados e submetidas a três ciclos de extração. Os conjuntos cadinhos com amostras extraídas foram novamente secos. Os extrativos orgânicos foram determinados pela diferença de massa. A análise de umidade foi realizada concomitantemente para corrigir a massa de fibras contendo extrativos para a condição absolutamente seca. A porcentagem de extrativos totais nas amostras foi determinada pela Equação 1.

$$Ext_{\text{totais}} = \left( \frac{mc/ext - ms/ext}{mc/ext} \right) * 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Em que:

$Ext_{\text{totais}}$  = teor de extrativos totais (%);

$mc/ext$  = massa de fibras contendo extrativos totais (g);

$ms/ext$  = massa de fibras sem extrativos totais (g).

#### 6.4.2. Análise de cinzas

Para a determinação de cinzas, realizou-se o método da incineração de acordo com a norma TAPPI T413 om-17 (TAPPI, 2017). Três cadinhos de porcelana foram calcinados em mufla a 700°C por 2 h e pesados em seguida em uma balança analítica. Foram pesados 5 g de amostra em cada um dos cadinhos. Posteriormente, o material contendo a amostra foi submetido à combustão na mufla com taxa de aumento de temperatura 50°C/30 min até atingir a temperatura de 900°C, na qual foi mantida por 6 h até formar cinzas. O conteúdo de cinzas foi determinado segundo a Equação 2 apresentada a seguir.

$$Cinzas = \left( \frac{m_{cinzas}}{m_{inicial}} \right) * 100 \quad \text{Equação (2)}$$

Em que:

Cinzas = teor de cinzas (%);

$M_{cinzas}$  = massa de cinzas (g);

$m_{inicial}$  = massa inicial (g).

#### 6.4.3. Teor de lignina insolúvel

Para a quantificação do teor de lignina insolúvel, seguiu-se os procedimentos descritos na norma TAPPI T222 om-15 (TAPPI, 2015). Foi transferido 1 g de fibras para um copo tipo béquer de 150 mL contendo uma bailarina para agitação em agitador magnético. Foi medido 40 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72% em uma proveta e transferido para o béquer. O conjunto foi mantido em agitação constante em agitador magnético em temperatura ambiente por 2 horas. Após 2 h, a amostra foi transferida para um béquer de 1 L utilizando 500 mL de água destilada.

As amostras foram fervidas em banho-maria durante 4 h à 95 °C mantendo o nível da água no béquer constantemente em 500 mL por adição periódica de água destilada. Após 4 h, foi desligado o banho-maria para deixar a lignina insolúvel sedimentar totalmente ao final de 24 h. O sistema foi filtrado (sobrenadante + decantado) em cadinho de vidro com fundo poroso n° 2 forrado com fibras de óxido de alumínio. Foi recuperado o líquido filtrado para posteriormente fazer a determinação do teor de lignina solúvel. O cadinho foi acondicionado em estufa a 105 °C por 24 h. Foi calculada porcentagem de lignina insolúvel de acordo com a Equação 3.

$$LI = \left( \frac{\text{massa de lignina}}{\text{massa inicial da fibra}} \right) * 100\% \quad \text{Equação (3)}$$

Em que:

LI = teor de lignina insolúvel;

Massa de lignina e massa inicial das fibras (g).

#### 6.4.4 Teor de lignina solúvel

O teor de lignina solúvel foi determinado seguindo os procedimentos da norma TAPPI UM 250-76 (TAPPI, 2000). Amostras dos filtrados provenientes da determinação de lignina insolúvel foram transferidas para uma cubeta de quartzo que por sua vez foi analisada por um espectrômetro modelo UV-VIS - M51, da marca Bel equipamentos. Foram realizadas as leituras de absorvância das amostras nos comprimentos de onda de 215 nm e 280 nm. O teor de lignina solúvel foi determinado utilizando a seguinte Equação 4:

$$LS = \left( \frac{(4,538 \times A_{215}) - A_{280}}{300 \times \text{massa inicial de fibras}} \right) * 100\% \quad \text{Equação (4)}$$

Em que:

LS = teor de lignina solúvel

$A_{215}$  = absorvância a 215 nm;

$A_{280}$  = absorvância a 280 nm;

Massa inicial de fibras (g).

#### 6.4.5 Teor de holocelulose

Para esta etapa foi seguida a metodologia descrita por Browning (1967). Foram preparadas uma solução de clorito de sódio (200 g/Litro) e outra de ácido acético (200 mL/Litro). Foram transferidos 2 g de fibras para um Erlenmeyer de 125 mL. Foram adicionados 55 mL de água destilada. Foram adicionados 3 mL de solução de clorito de sódio e 2 mL de ácido acético (1:5) utilizando pipetas.

Os erlenmeyers tampados foram aquecidas no banho-maria 70-80°C. A cada 45 min, foram adicionados mais 3 mL da solução de clorito de sódio e 2 mL da solução de ácido acético num total de cinco vezes. Em seguida, as amostras foram filtradas em cadinho, lavadas com água destiladas e seca até massa constante. O teor de holocelulose foi calculado de acordo com a Equação 5.

$$HOL = \left( \frac{\text{massa de holocelulose}}{\text{massa inicial da fibra}} \right) * 100\% \quad \text{Equação (5)}$$



Em que:

Hol = teor de holocelulose;

Massa de holocelulose e massa inicial das fibras (g).

#### 6.4.6 Teor de celulose

O teor de celulose foi obtido seguindo a metodologia proposta por Kennedy et al. (1987). A holocelulose isolada anteriormente foi transferida para um béquer de 100 mL, em que foram posteriormente adicionados 30 mL de solução de hidróxido de potássio (KOH) 24%. As amostras foram submetidas à agitação magnética constante por 15 h. Após 15 h, o sistema foi filtrado em cadinho de fundo poroso e a celulose seca em estufa em temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  por 24 h para posterior pesagem. O teor de celulose foi obtido por meio da seguinte Equação 6.

$$Cel = \left( \frac{\text{massa de celulose}}{\text{massa inicial de holocelulose}} \right) * 100\% \quad \text{Equação (6)}$$

Em que:

Hol = teor de holocelulose;

Massa de holocelulose e massa de celulose (g).

### 6.5. Espectroscopia de infravermelho transformada de Fourier (FTIR)

Foram realizadas as medidas de todos os tratamentos de Espectroscopia na Região do Infravermelho foram realizadas no Espectrofotômetro de Infravermelho por Transformada de Fourier Perkin Elmer Spectrometer (Frontier) no modo Reflexão Total Atenuada (ATR), de 4000 a  $650 \text{ cm}^{-1}$ , com 32 varreduras e resolução de  $4 \text{ cm}^{-1}$ .

### 6.6. Caracterização física

Todas as análises foram realizadas em triplicata.

#### 6.6.1. Umidade

A umidade foi determinada de acordo com a NBR 14929 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003). Amostras de aproximadamente 1 g foram pesadas e secas em estufa a  $103^\circ\text{C}$  ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ) até estabilização da massa do material com variação máxima de 0,5g, o que demorou entre 6 e 48 h. O teste foi conduzido com 3 repetições por tratamento. Após pesagem da massa seca, a umidade foi obtida pela Equação 7.

$$UBS = \left( \frac{m_u - m_s}{m_s} \right) * 100 \quad \text{Equação (7)}$$

Em que:

UBS = umidade base seca (%);

$m_u$  = massa úmida (g);

$m_s$  = massa seca (g).

### 6.6.2. Densidade aparente

A densidade aparente foi obtida de acordo com a NBR 14984 (ABNT, 2003). A massa foi obtida primeiramente em uma balança com precisão de 0,001 g e volume por imersão em uma proveta de 10 mL contendo álcool. A unidade do volume foi ajustada para  $\text{cm}^3$  com base na massa específica do álcool. Pela relação entre massa e volume (Equação 8) do material na umidade base seca determinada conforme o item 6.5.1, com 3 repetições por tratamento.

$$DA_{ubs} = \left( \frac{m_{ubs}}{v_{ubs}} \right) * 100 \quad \text{Equação (8)}$$

Em que:

$DA_{ubs}$  = densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) na umidade corrente UBS (%);

$m_{ubs}$  = massa (g) na umidade corrente UBS (%);

$v_{ubs}$  = volume ( $\text{cm}^3$ ) na umidade corrente UBS (%).

### 6.6.3. Absorção de água

As amostras foram submersas em água e pesadas com uma precisão de 0,001 g após 72 h. Previamente a cada pesagem, as amostras foram retiradas e, com auxílio de papel toalha, foi removido o excesso de água. De acordo com a Equação 9.

$$AA = \left( \frac{\text{massa úmida} - \text{massa seca}}{\text{massa seca}} \right) * 100 \quad \text{Equação (9)}$$

Em que:

AA = absorção de água (%);

Massa úmida e massa seca em (g).

### **6.7. Análise estatística**

As análises estatísticas foram feitas por teste de Tukey ou Teste t-student. Foi considerado como nível de significância estatística o limite de 5% ( $p < 0,05$ ).

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1. Modificações morfológicas das fibras de patauá

Quando submetidas à maceração, as fibras do resíduo do patauá foram adequadamente individualizadas, mostrando morfologia típica alongada, com extremidade fechada e lumen (Figura 15).

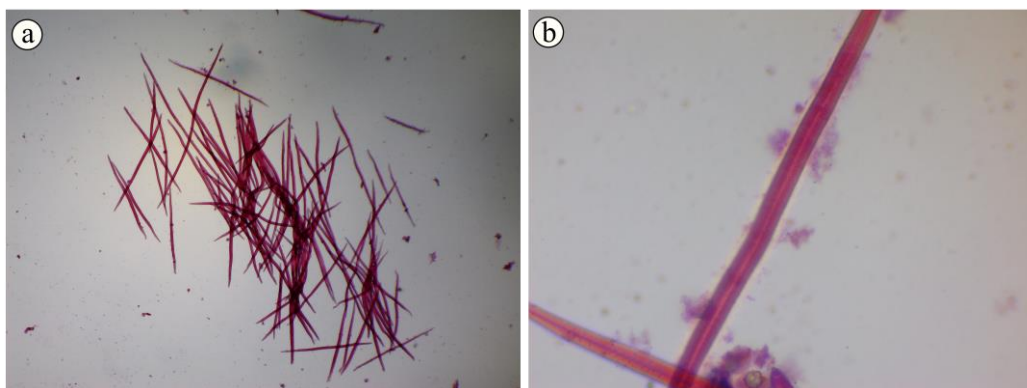


Figura 15 - Micrografia do macerado das fibras do patauá.

A biometria das fibras revelou relação comprimento/espessura média de  $\approx 40$ , além de parede celular com espessura média maior ( $4.10 \mu\text{m}$ ) do que a largura média do lumen ( $3.01 \mu\text{m}$ ), ou seja, maior proporção de parede celular. A propriedade mais variável foi a largura do lumen ( $\text{CV} = 30\%$ ) e o comprimento ( $\text{CV} = 25\%$ ). Já a espessura da parede ( $\text{CV} = 18\%$ ) e largura da fibra ( $\text{CV} = 16\%$ ) foram menos variáveis (Tabela 2).

Tabela 2 - Variáveis biométricas do macerado das fibras do patauá.

Parâmetro	Comprimento	Largura	Largura do lumen	Espessura da parede
			(μm)	
<b>Média</b>	444.66	11.21	3.01	4.10
<b>Mínimo</b>	234.52	5.55	1.22	1.97
<b>Máximo</b>	727.22	15.47	5.26	6.58
<b>Desvio padrão</b>	109.72	1.84	0.90	0.75
<b>Coefficiente de variação (%)</b>	25	16	30	18

Carlquist (2012) reporta que a espessura da parede das fibras, fornece às plantas resistência para lidar com o peso de sua estrutura e com forças externas, como o estresse por vento e pelo torque, justificando assim, o investimento em celulose e outras substâncias.

Vivian et al. (2020) realizaram estudos sobre a qualidade da madeira do *P. glabra* visando à produção de polpa celulósica em comparação com *P. taeda*, uma das principais espécies empregadas para fabricação de polpa celulósica de fibra no Brasil. Os autores encontraram valores médios de comprimento de 3,14 mm, largura de 27,18  $\mu\text{m}$ , diâmetro do lúmen de 15,39  $\mu\text{m}$  e espessura da parede de 5,89  $\mu\text{m}$  dos traqueídeos, que resultaram em 44,72%, 55,28%, 0,90 e 120,72 para os parâmetros de fração parede, coeficiente de flexibilidade, índice de Runkel e índice de enfiamento, respectivamente. Em outro estudo, foi verificado que o comprimento da fibra da madeira de eucalipto variou de 0,70 a 0,84 mm e a largura de 18,0 a 19,1  $\mu\text{m}$ . Já a relação comprimento/largura variou de 38 a 86.

A polpa de celulose de pinus é conhecida comercialmente como “de fibra longa”, enquanto a de eucalipto é conhecida como “de fibra curta”. Adicionalmente, fibras não madeireiras são normalmente identificadas como fibras longas na indústria, mas normalmente referindo-se a feixes de fibras. A fibra do patauá desse estudo perfeitamente isolada por maceração apresentou comprimento de 0,23 a 0,73 mm, ou seja, uma matéria-prima não madeireira que, se submetida à polpação, iria fornecer fibras de comprimentos similares à polpa de eucalipto. Como vantagem, se tratam de fibras fracamente aderidas à superfície de uma semente removíveis à mão (MORAIS et al., 2019).

O aspecto visual das fibras mudou drasticamente após tratamento alcalino. Fibras não tratadas apresentaram estrutura mais rígida e são maiores. Após tratamento, as fibras se individualizam parcialmente e se tornam mais macias, ou seja, menos densas. Por meio da análise de MEV, é possível observar a redução do diâmetro das fibras tratadas. Adicionalmente, uma nova característica ficou evidente que não apareceu no macerado, os feixes de fibras provenientes da individualização parcial não são tipicamente cilíndricos, mas achatados (Figura 16).

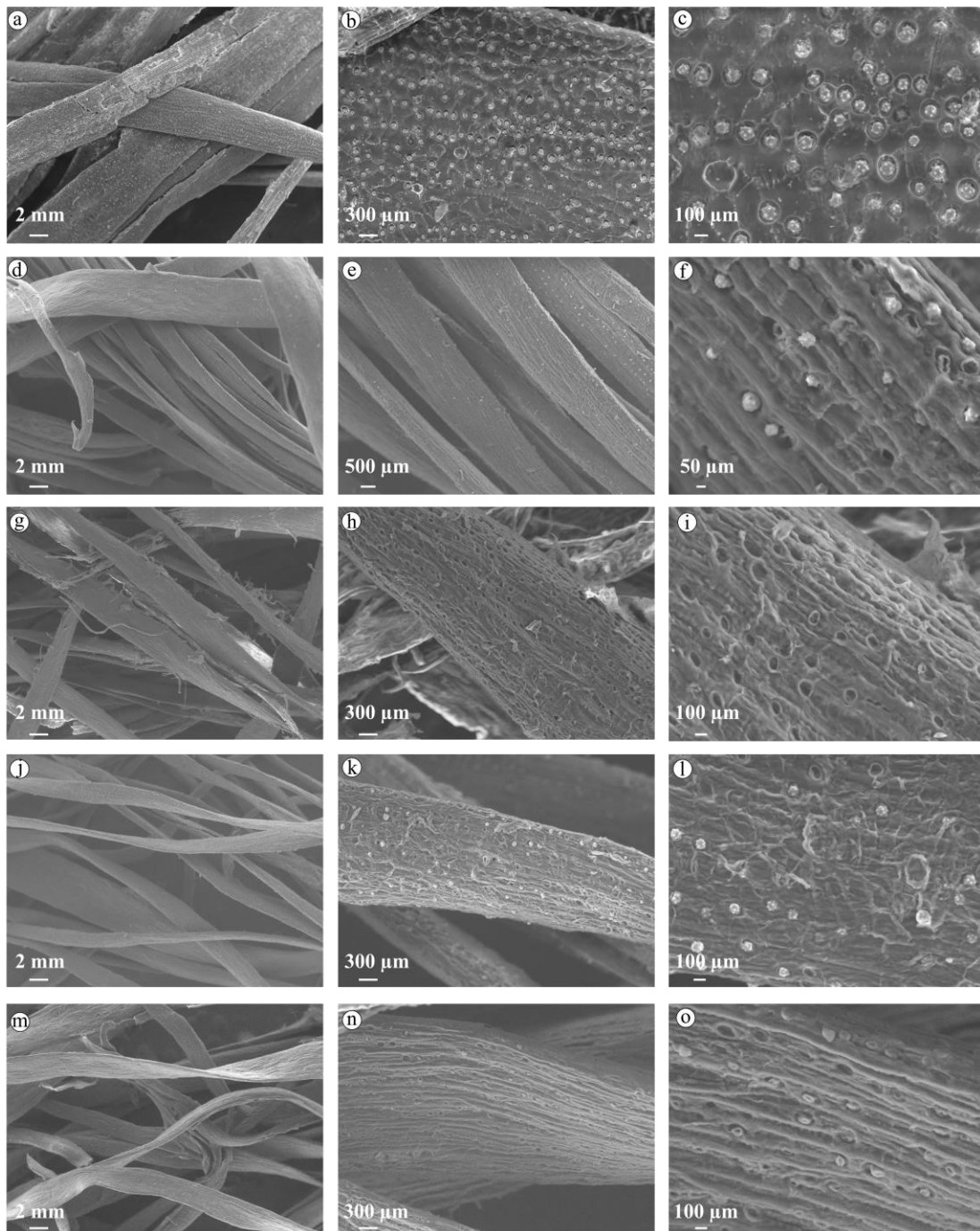


Figura 16 - Micrografias de MEV das fibras do patauá: (a), (b) e (c) naturais; (d), (e) e (f) tratadas com NaOH a 5% a 80°C; 10% a 80°C (g), (h) e (i); 5% a 100°C (j), (k) e (l) e; 10% a 100°C (m), (n) e (o).

O aumento da rugosidade da parede celular é atribuído à retirada de hemiceluloses e lignina, como uma forma de limpeza das fibras (PIRES et al., 2011). Como resultado, tem-se a individualização das estruturas, pois a lignina é o agente ligante natural entre fibras e microfibrilas de celulose (BENINI, 2015).

Dessa forma, a ocorrência de feixes de fibras foi observada e a individualização das fibras foi parcial, porém, mais efetivas quanto mais intenso o tratamento. Inclusive a microfibrilação pode ocorrer (MULINARI, 2014). Para a produção de compósitos, esses tratamentos são vantajosos, pois melhoram a adesão interfacial entre fibra e matriz (SILVA, 2003). Um trabalho anterior com fibras do resíduo do despulpamento do açaí (similares às deste trabalho) evidenciou que estruturas similares são silicosas. As mesmas também foram parcialmente ou totalmente removidas da superfície dependendo da intensidade dos tratamentos alcalinos (OLIVEIRA et al., 2019).

## 7.2. Modificações das propriedades químicas das fibras de patauá

Os tratamentos alcalinos modificaram a composição química das fibras de patauá. O efeito sobre o teor de extrativos foi variável, com excepcional redução no tratamento mais intenso (NaOH 10% e 100°C). Eventuais resíduos de NaOH dos tratamentos após lavagem podem explicar tanto o aumento no teor de extrativos do tratamento 5%\_80°C, quanto o aumento do teor de cinzas de todos os tratamentos. Houve decréscimo de até 4% nos teores de lignina insolúvel e solúvel de todos os tratamentos. Já a remoção das hemiceluloses foi muito efetiva e proporcional à intensidade dos tratamentos. Tal redução foi acompanhada por uma intensa concentração da celulose. É notável que, independente do teor de NaOH, a temperatura de 100°C foi muito mais eficiente na concentração de celulose do que a de 80°C (Tabela 3).

Tabela 3 - Composição química das fibras de patauá naturais e tratadas.

Condição	Teores (%)					
	Ext	Cz	Lig (I)	Lig (S)	Hem	Cel
Naturais	4.8 ± 0.1 <sup>c</sup>	1.1 ± 0.1 <sup>d</sup>	34.8 ± 2.0 <sup>a</sup>	3.7 ± 0.1 <sup>a</sup>	34.2 ± 0.3 <sup>a</sup>	24.3 ± 1.0 <sup>d</sup>
5%80°C	6.3 ± 0.2 <sup>a</sup>	2.1 ± 0.1 <sup>b</sup>	29.6 ± 0.4 <sup>b</sup>	2.8 ± 0.4 <sup>bc</sup>	25.2 ± 0.8 <sup>b</sup>	37.7 ± 0.8 <sup>c</sup>
5%100°C	3.6 ± 0.3 <sup>b</sup>	2.2 ± 0.1 <sup>b</sup>	30.6 ± 0.5 <sup>b</sup>	2.6 ± 0.1 <sup>c</sup>	19.1 ± 1.1 <sup>cd</sup>	48.1 ± 1.1 <sup>a</sup>
10%80°C	4.4 ± 0.2 <sup>c</sup>	2.9 ± 0.1 <sup>a</sup>	30.1 ± 2.0 <sup>b</sup>	3.2 ± 0.2 <sup>ab</sup>	20.7 ± 1.2 <sup>c</sup>	41.3 ± 1.8 <sup>b</sup>
10%100°C	2.1 ± 0.1 <sup>d</sup>	2.6 ± 0.8 <sup>c</sup>	31.0 ± 0.8 <sup>b</sup>	2.7 ± 0.1 <sup>bc</sup>	16.1 ± 0.0 <sup>d</sup>	48.4 ± 1.3 <sup>a</sup>

Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente no teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

O estudo realizado por Barbosa et al. (2019) demonstrou maior teor de extrativos presentes no resíduo de açaí, quando comparado às fibras de coco e sisal. Esta característica pode dificultar a adesão entre as partículas do resíduo de açaí e resinas termofixas, na produção de compósitos. Este efeito explica-se pela interferência dos extrativos, principalmente de graxas e óleo, na reação de polimerização da resina, diminuindo a interação entre matriz e reforço (LIMA, 2007). Buscando entender mais sobre o teor de lignina em fibras do açaí tratadas, Joseph et al. (1999), realizaram tratamento com 0,5% de NaOH e obtiveram média de 33,22%, enquanto a fibra natural contém 30,35%. Portanto, verificou-se não houve perda de lignina significativa durante o processo da fibra de referência. O aumento pode ser explicado pela retirada dos ácidos graxos (gorduras) presentes nas paredes das fibras. O tratamento de hidróxido de sódio é efetivo na melhoria da interface fibra/matriz e, dentre outros tratamentos, é o mais simples e de baixo custo. Ambas as fibras de mesocarpo de patauí e açaí são aderidas às sementes, portanto, similares. É vantajoso para a fibra do patauí ser mais susceptível às modificações químicas por tratamentos alcalinos em comparação às fibras de açaí.

Mwaikambo et al. (2002) abordaram que a composição química das principais fibras vegetais de interesse econômico, tais como sisal, algodão, fibra de coco, juta e linho é de 13% a 92% de celulose, 1 a 28% de hemiceluloses, e 1% a 28% de lignina. Outros materiais lignocelulósicos não madeireiros também foram referenciados para comparação. O resíduo do açaí, similar às fibras deste estudo, já foi utilizado em estudos de produção de energia e o baixo teor de cinzas é importante para um rendimento satisfatório de energia (BUFALINO et al., 2018; PROTÁSIO et al., 2013; SATO et al., 2019).

A Figura 17 demonstra a região entre 880 a 3700  $\text{cm}^{-1}$  dos espectros de absorção no Infravermelho das bandas observadas. Nesta região as vibrações encontradas foram identificadas como estiramentos das ligações do tipo =C-H e estiramento das ligações C-H nos grupos do metil ( $\text{CH}_3$ ) e metileno ( $\text{CH}_2$ ).



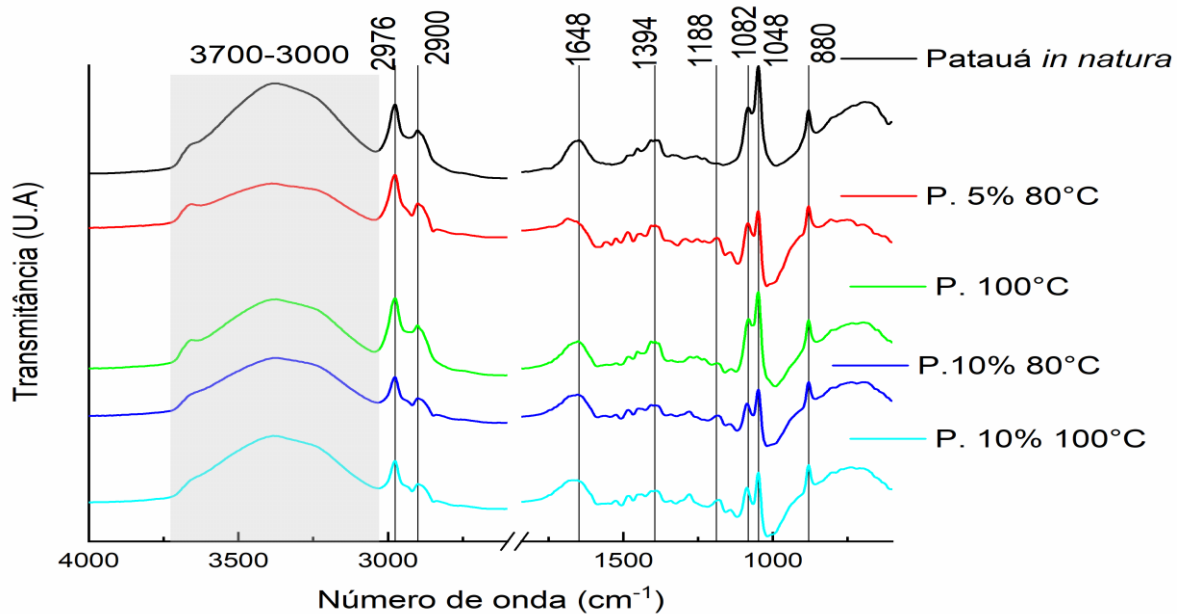


Figura 17 - Análise de infravermelho.

Sobre a região entre 880 e 1648  $\text{cm}^{-1}$ , no espectro observa-se quatro bandas em 880, 1048, 1082 e 1648  $\text{cm}^{-1}$  referentes às ligações C=O presentes nas moléculas e uma banda em 1648  $\text{cm}^{-1}$  referente às ligações C=O nas moléculas de ácido oleico. Na banda 880, observa-se modos de vibração de ácidos graxos. Já na 1188 C-C Triglicérides.

Espinosa et al. (2017) analisaram três diferentes nanofibras lignocelulósicas (LCNF) que foram produzidas a partir de polpa de soda de palha de trigo não branqueada usando diferentes pré-tratamentos, identificand bandas espectrais em 3300 e 2845  $\text{cm}^{-1}$  correspondentes à vibração de alongamento O-H e C-H de grupos  $\text{CH}_2\text{-OH}$  da estrutura da celulose.

Dias et al. (2022) realizaram pesquisas com o objetivo de avaliar as propriedades de nanofibras de celulose (CNFs) com diferentes teores de hemicelulose e polimorfos de celulose II, os espectros das análises ATR-FTIR dos tratamentos são mostraram bandas de estiramento O-H diferente entre os tratamentos. Nos picos dos tratamentos há presença de hidroxila livre (OH), vibração de alongamento de CH, estiramento do sódio grupos carboxila (CooNa).

Beltrami et al. (2014) avaliaram a influência do tratamento alcalino das fibras de curauá, nas concentrações de 1, 5 e 10%(m/v) de NaOH, nas propriedades dos compósitos com matriz de PHBV e 20% m/m de fibras de curauá. Os resultados de FTIR mostraram que o tratamento alcalino promoveu modificações na estrutura das fibras de curauá, comprovadas pela remoção da hemicelulose e da lignina, evidenciadas pela ausência das bandas típicas destes compostos.

Mascarenhas et al. (2022) produziram MFC/NFC com fibras pré-tratadas usando silicato de cálcio ( $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$ ) e silicato de magnésio ( $\text{MgO}_3\text{Si}$ ) para avaliar seu desempenho como revestimento em papelão. As curvas espectrais das polpas pré-tratadas mostraram a presença de picos referentes aos grupos silicatos funcionais, mesmo após lavagem e estabilização do pH. Para CS 5 % e CS 10 % houve uma redução significativa nos picos de vibração angular dos grupos CH e -OH da celulose, situados por volta de 2890 e 3350  $\text{cm}^{-1}$ , indicando uma forte interação do silicato de cálcio com as fibras.

Oh et al. (2005) analisaram estruturas cristalinas de celulose (denominada como Célula 1), celulose tratada com NaOH (Célula 2) e subsequente celulose tratada com  $\text{CO}_2$  (Célula 2-C) foram analisadas por espectroscopia FTIR, incluindo 2901, 1431, 1282, 1236, 1202, 1165, 1032 e 897  $\text{cm}^{-1}$  que foram deslocados para um número de onda maior (em 2–13  $\text{cm}^{-1}$ ). No entanto, as bandas em 3352, 1373 e 983  $\text{cm}^{-1}$  foram deslocadas para ondas mais baixo número (por 3–95  $\text{cm}^{-1}$ ).

Rambabu et al. (2016) produziram Fibras de nanocelulose a partir de pinha (*Jack pine: Pinus banksiana Lamb*) usando química e tratamentos mecânicos, os espectros FTIR de pinha crua e 4% de NaOH tratamento seguido de tratamento com cloreto de sódio acidificado a 3 e 5% fibras de celulose, demonstraram mudanças na composição química das fibras. Na pinha crua, os picos dominantes de alongamento OH e o alongamento CH foram observados em aproximadamente 3400  $\text{cm}^{-1}$  e 2800  $\text{cm}^{-1}$ , respectivamente. O pico proeminente da pinha crua em 1737  $\text{cm}^{-1}$  foi atribuído ao acetil e grupos éster urônicos da hemicelulose ou à ligação éster de os grupos carboxílicos dos ácidos ferúlico e p-cumérico da lignina.

### **7.3. Modificações das propriedades físicas das fibras de patauá**

A Figura 18 demonstra a umidade das fibras que variou de 9,51 para as fibras *in natura* a 12,63% para as fibras tratadas 10% a 80° C, que foi superior às demais estudadas.

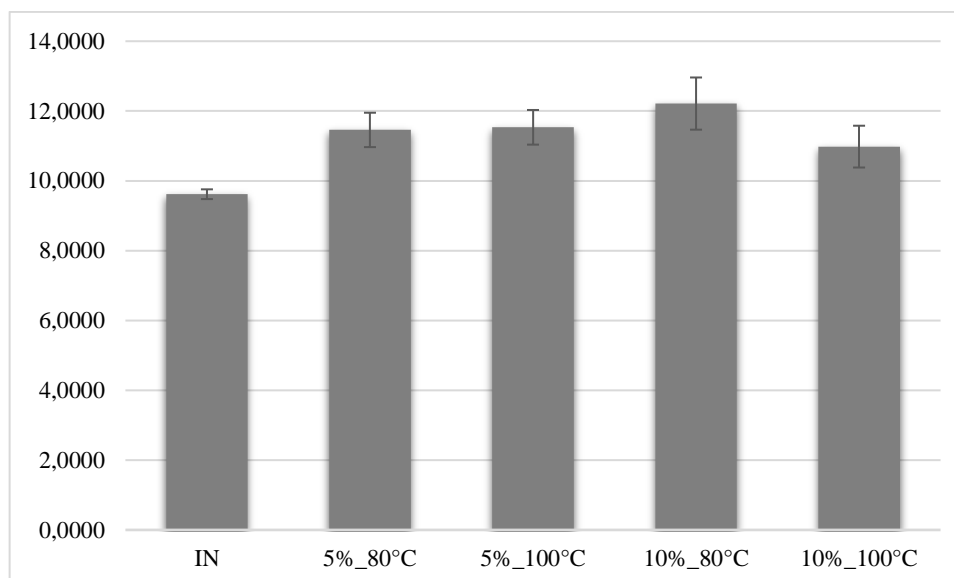


Figura 18 - Teste de Umidade.

Fibras lignocelulósicas tem natureza hidrofílica sob condições naturais. Após os tratamentos químicos, a desobstrução das pontuações das superfícies das fibras, bem como a remoção parcial de extrativos e ou lignina possivelmente tornou as fibras mais susceptíveis a umidade ambiental. Além disso, o tempo de secagem no ambiente, pode não ter sido suficiente para que elas atingissem a mesma umidade das fibras in natura.

A alta umidade das fibras enfraquece sua resistência mecânica e pode influenciar negativamente a resistência mecânica de compósitos produzidos com elas (GHOLAMPOUR; OZBAKKALOGLU, 2020). Ao perder água quando estiverem na condição de reforço, as fibras podem contrair causando problemas de interface com a matriz (ROUISSON et al., 2005). Para a produção de painéis tais como MDF, a cura das resinas utilizadas pode ser impedida pela presença de umidade das fibras (LEBLON et al., 2013) Portanto, as fibras de patauá precisariam ser secas antes da produção de compósitos.

Com relação a densidade, a Figura 19 indicou baixa variação entre as fibras tratadas com diferentes temperaturas e porcentagens de NaOH, no entanto, quando comparado com as fibras não tratadas, a densidade aumentou.

As médias e desvios padrões dos tratamentos de densidade foi respectivamente: tratamento de 5% a 80°C média 1.06 e 0.02, tratamento 5% a 100° C média 1.05 e 0.015, tratamento 10% a 80° C média 1.07 e 0.01, tratamento 10% a 100° C média 1.04 e 0.015.

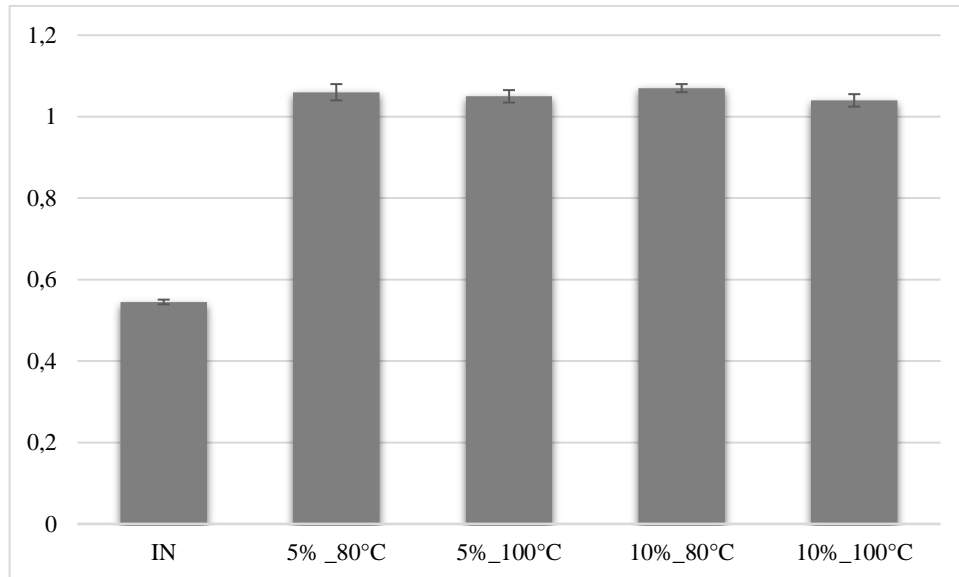


Figura 19 - Teste da densidade.

Vale ressaltar que a densidade teórica das fibras naturais é em torno de  $1,15 \text{ g/cm}^3$  (MANO, 1991). Os valores experimentais das densidades estão próximos a esse valor.

A diminuição da densidade  $s$  pode ser explicada pelas densidades isoladas da celulose ( $1.528 \text{ g/cm}^3$ ), hemiceluloses ( $1.52 \text{ g/cm}^3$ ) e lignina ( $1.30 \text{ g/cm}^3$ ) que compõe as fibras (MUSSANA et al., 2018), sendo que os pré-tratamentos alcalinos removem parcialmente os componentes não-celulósicos de menor densidade. Maiores densidades de materiais lignocelulósicos favorecem sua resistência mecânica (LOBÃO et al., 2004).

A absorção de água das fibras tratadas comparadas com as não tratadas, demonstraram maior absorção, especialmente a 10% com temperatura a 100%.

A Figura 20 mostra a absorção de água por imersão das fibras. Observa-se que as fibras tratadas com as porcentagens de NaOH a 5% e 10% a  $80^\circ \text{C}$  demonstraram mesma capacidade de absorção de água.

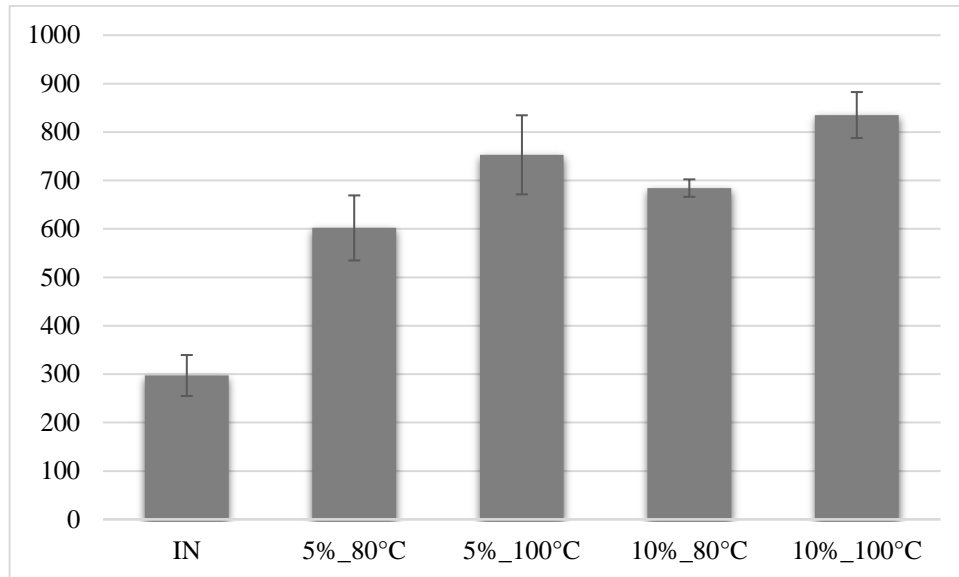


Figura 20 - Absorção de água.

Enquanto as fibras tratadas com NaOH a 5% e 10% a 100°C, demonstraram maior capacidade de absorção, provavelmente devido à elevação da temperatura, fazendo que ocorresse melhor individualização das fibras favorecendo a absorção. Os resultados corroboram também com a análise de MEV que demonstrou desobstrução das pontoações das superfícies das fibras, tornando-as mais porosas e, portanto, mais susceptíveis à absorção de água.

Este elemento corrobora com os estudos de Oliveira et al. (2010), os quais afirmam que madeiras que possuem maiores densidade, possuem maior concentração de células com paredes mais espessas, o que auxilia na maior capacidade de absorção de água por unidade de volume e, assim sendo, a expandir ou contrair mais do que aquelas de menor densidade.

## 8. CONCLUSÃO

As fibras do resíduo do patauá submetidas a maceração foram adequadamente individualizadas, apresentando morfologia típica alongada, com extremidade fechada e lumen. A biometria indica dimensões mais próximas das fibras conhecidas como “de fibra curta” no mercado.

Os feixes de fibras têm morfologia achatada. Os tratamentos químicos isolaram parcialmente as fibras, limpavam sua superfície e desobstruíram pontoações. As modificações químicas foram relevantes, principalmente a remoção de hemiceluloses, com o teor de celulose das fibras naturais aumentando de 24% para 48% após o tratamento mais intenso com NaOH a 10% a 100°C. Em relação às propriedades físicas, as fibras se tornaram mais densas pela concentração da celulose, porém passaram a absorver mais água devido ao aumento da porosidade pela desobstrução das pontoações.

O efeito da temperatura do pré-tratamento foi mais relevante do que do teor de NaOH, sendo as modificações mais significativas obtidas com 100°C. Após tratamentos alcalinos, as fibras de patauá se tornam mais aptas para a produção de nanofibrilas de celulose e para aplicação como reforço de compósitos.

## 9. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999**: determinação de resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro, 2003.

AGUIAR, A.; FERRAZ, A. Mecanismos Envolvidos na Biodegradação de Materiais Lignocelulósicos e Aplicações Tecnológicas Correlatas. **Química Nova**, v. 34, n. 10, p. 1729-1738, 2011.

ANDRADE, A.S.de. **Qualidade da Madeira, Celulose e Papel em *Pinus taeda* L.: Influência da Idade e Classe de Produtividade**. 2006. 107 p. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-Graduação de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ARANTES, V.; SADDLER, J.N. Access to Cellulose Limits the Efficiency of Enzymatic Hydrolysis: The Role of Amorphogenesis. **Biotechnology for Biofuels**, v. 3, n. 4, p. 1-11, 2010.

ARUNAS, K.; AGNÊ, K.; SAULIUS, V.; SIGITAS, V.; SYLWIA, C.; ANNA, S. 'The Impact of Hot-Water-Treated Fibre Hemp Shivs on the Water Resistance and Thermal Insulating Performance of Corn Starch Bonded Biocomposite Boards'. **Ind. Crops Prod**, v. 137, p. 290 – 299, 2019.

BALICK, M.J. **Systematics, and economic botany of the Oenocarpus – Jessenia (Palmae) complex**. Nova Iorque: Botanical Garden Pr Dept, 1986. 140 p.

BALICK, M.J. Jessenia and Oenocarpus: neotropical oil palms worthy of domestication. Food and agriculture organization of the United Nations - **FAO. In: Plant Production and Protection**. 191 p. Rome, 1988.

BALICK, M.J.; GERSHOFF, S.N. Nutricional evaluation of the *Jessenia bataua* pal: Source of high quality protein and oil from Tropical America. **Economic Botany**, v. 35, n. 3, p. 261-271, 1981.

BARBOSA, A. D. M.; REBELO, V. S. M.; MARTORANO, L. G.; GIACON, V. M. **Caracterização de partículas de açaí visando seu potencial uso na construção civil**. Matéria (Rio de Janeiro), 2019, p. 24.

BAYÃO G.F.V. **Resíduo da produção de palmito da palmeira real australiana na alimentação de vacas leiteiras**. 2013. 54 p. Tese de doutorado. Programa de pós-graduação em Zootecnia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

BECKERMANN, G.W.; PICKERING, K.L. Engineering and evaluation of hemp fibre reinforced polypropylene composites: Fibre treatment and matrix modification. **Composites: Part A**, v. 39, n. 6, p. 979–988, 2008.

BELTRAMI, L. V. R.; CRISTINE SCIENZA, L.; ZATTERA, A. J. Efeito do tratamento alcalino de fibras de curauá sobre as propriedades de compósitos de matriz biodegradável. *Polímeros*, 24, 388-394, 2014.

BENINI, K. C. C. **Compósitos de nanocelulose/PHBV**: manta microfibrilica por eletrofiação. 2015.

BROWNING, B. L. **Methods of wood chemistry**. Volumes 1-2., Ed., Wiley, New York, 1967. 498 pp.

BUFALINO, L.; DE SENA NETO, A.R.; TONOLI, G.H.D.; DE SOUZA FONSECA, A.; COSTA, T.G.; MARCONCINI, J.M.; MENDES, L.M. How the chemical nature of Brazilian hardwoods affects nanofibrillation of cellulose fibers and film optical quality. *Cellulose*, v. 22, n. 6, p. 3657-3672, 2015.

BUFALINO, L.; CAIXETA, L.A.; DE PAULA PROTÁSIO, T.; SCATOLINO, M.V.; DE ALMEIDA MESQUITA, R.G.; MENDES, L.M.; MARCONCINI, J.M. Options for chemical modification of wastes from a Brazilian hardwood species and potential applications. *Key Engineering Materials*, v. 634, p. 321-328, 2015.

BUFALINO, L.; GUIMARAES, A. A.; SILVA, B. M. D. S. E.; DE SOUZA, R. L. F.; DE MELO, I. C. N. A.; DE OLIVEIRA, D. N. P. S.; TRUGILHO, P. F. Local variability of yield and physical properties of açai waste and improvement of its energetic attributes by separation of lignocellulosic fibers and seeds. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, v. 10, n. 5, p. 053102, 2018.

CALEGARI, E.P.; ANGRIZANI, C.L.; PORTO, J.S.; ZANELLA, B.; AMICO, S.C.; DUARTE, L.C.; OLIVEIRA, B.F. Design e materiais: desenvolvimento de biocompósitos a partir da casca de arroz e do resíduo de papel em matriz poliuretana vegetal à base de mamona. In: SIMPÓSIO DE DESIGN SUSTENTÁVEL, 5.; 2015. **Resumos...** Rio de Janeiro: Blucher Design Proceedings, 2015.

CARLQUIST, S. How wood evolves: a new synthesis. *Botany*, v. 90, n. 10, p. 901-940, 2012.

CARVALHO, A.M.; DANTAS, R.A.; COELHO, M.C.; LIMA, W.M.; SOUZA, J.P.S.P.; FONSECA, O.P.; GUIMARÃES JUNIOR, R. Teores de Hemicelulose, Celulose e Lignina em Plantas de Cobertura com Potencial para Sistema Plantio Direto no Cerrado. **EMBRAPA - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 290**, Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, 2010.

CARVALHO, A.V.; SILVEIRA, T.F.; SOUSA, S.H.B.; MORAES, M.R.; GODOY, H.T. Compostos fenólicos e atividade antioxidante de genótipos de bacaba-de-leque (*Oenocarpus distichus* Mart.). *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 4, p. 1-9, 2016.



CARVALHO, W.; CANILHA, L.; FERRAZ, A.; MILAGRES, A.M.F. Uma Visão Sobre a Estrutura, Composição e Biodegradação da Madeira. **Química Nova**, v. 32, n. 8, p. 2191-2195, 2009.

CRUZ, O.M.; DE SOUZA, R.L.F.; DE FREITAS, R.R.; DE SOUZA, L.M.; MAFRA, E.R.M.L.; E SILVA, B.M.D.S.; BUFALINO, L. The properties of the mesocarp fibers of patauá, a multiple-use palm from the Amazonia forest. **SN Applied Sciences**, v. 1, n. 11, p. 1317, 2019.

DARNET, S.H.; SILVA, L.H.M.; RODRIGUES, A.M.C.; LINS, R.T. Nutritional composition, fatty acid and tocopherol contents of buriti (*Mauritia flexuosa*) and patauá (*Oenocarpus bataua*) fruit pulp from the Amazon region. **Food Science and Technology**, v. 31, n. 2, p. 488-491, 2011.

DE FARIA BITAR, M.J; DE ALCÂNTARA, M.M. **Extração do óleo vegetal da palmeira de buriti, mauritia flexuosa L.F., em itumbiara**. Anais da Semana Interdisciplinar, Seminário de Iniciação Científica e Semana da Família do Câmpus de Itumbiara, v. 1, n. 1, 2015.

DE OLIVEIRA, D.N.; CLARO, P.I.; DE FREITAS, R.R.; MARTINS, M.A.; SOUZA, T.M.; DA S.E SILVA, B.M.; BUFALINO, L. Enhancement of the Amazonian Açai Waste Fibers through Variations of Alkali Pretreatment Parameters. **Chemistry & biodiversity**, v. 16, n. 9, p. e1900275, 2019.

DIAS, M. C.; ZIDANES, U. L.; MARTINS, C. C. N.; DE OLIVEIRA, A. L. M.; DAMÁSIO, R. A. P., DE RESENDE, J. V., ... & FERREIRA, S. R. Influence of hemicellulose content and cellulose crystal change on cellulose nanofibers properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2022.

DOS SANTOS, B. F. **Utilização da fibra do coco verde (*cocos nucifera* L.) como substrato alternativo para produção de celulases fúngicas**. 2018. 69 p. Monografia. Curso de Biotecnologia do Centro de Biotecnologia da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

EHMAN, N.V.; TARRÉS FARRÉS, Q.; DELGADO AGUILAR, M.; VALLEJOS, M.E.; FELISSIA, F.; ÁREA, M.C.; MUTJÉ PUJOL, P. Da serragem de pinheiro às nanofibras de celulose. © **Cellulose Chemistry and Technology**. v. 50, p. 361-367, 2016.

ESPINOSA, E.; DOMÍNGUEZ-ROBLES, J.; SÁNCHEZ, R.; TARRÉS, Q.; RODRÍGUEZ, A. The effect of pre-treatment on the production of lignocellulosic nanofibers and their application as a reinforcing agent in paper. **Cellulose**, 24(6), 2605-2618, 2017.

EVERT, R.F. **Anatomia das plantas de Esau: meristemas, células e tecidos do corpo da planta: sua estrutura, função e desenvolvimento**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2013. 726 p.

FIGUEIREDO, A.D. **Concreto reforçado com fibras de aço**. 2011. 248 p. Tese (Livre Docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2011.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, v. 155, n. 3924, p. 51-51, 1945.

FREDERICO, P.G.U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal**. 2009. 85 p. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

GHALI, L.; MSAHLI, S., ZIDI, M.; SAKLI, F. Effect of pre-treatment of Luffa fibers on the structural properties. **Material Letters**, v. 63, n. 1, p. 61-63, 2009.

GHOLAMPOUR, A.; OZBAKKALOGLU, T. A review of natural fiber composites: Properties, modification and processing techniques, characterization, applications. **Journal of Materials Science**, 55(3), 829-892.2020.

GOES, R.O.; MORENO, S.O.; TAVARES, F.F.C. Produção e avaliação das propriedades físicas e mecânicas de “madeira sintética” processada a partir do resíduo do beneficiamento do açaí. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 13199-13204, 2015.

GOMES–SILVA, D.A.P.; WADT, L.H.O.; EHRINGHAUS, C. Ecologia e manejo de patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.) para produção de frutos e óleo. **Embrapa Acre. Documentos**, 88. Rio Branco-AC, 2004.

GROSS, M. How can we save forest biodiversity? **Current Biology**, v. 26, n. 22, p. 1167-1170, 2016.

HEJAZI, S.M.; SHEIKHZADEH, M., ABTAHI, S.M., ZADHOUSH, A. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers, **Construction and Building Materials**, v. 30, p. 100-116, 2012.

HENDERSON, A.; GALEANO, G.; BERNAL, R. **Field Guide to the Palms of the Americas**. New Jersey: Princeton University Press, 1995. 51 p.

HIDALGO, P. S. P.; NUNOMURA, R. C. S.; NUNOMURA, S. M. Plantas Oleaginosas Amazônicas: Química e Atividade Antioxidante de Patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.). **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 1, p. 130-140, 2016.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS COMMITTEE et al. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin, new series**, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

ISHAK, M.R.; SAPUAN, S.M.; LEMAN, Z.; RAHMAN, M.Z.A.; ANWAR, U.M.K.; SIREGAR, J.P. Sugar palm (*Arenga pinnata*): Its fibres, polymers and composites. **Carbohydrate polymers**, v. 91, n. 2, p. 699-710, 2013.

JOSEPH, K.; MEDEIROS, E. S.; CARVALHO, L. H. Tensile properties of unsaturated polyester composites reinforced by short sisal fibers. **Polímeros**, v. 9, n. 4, p. 136-141, 1999.

KENNEDY F, PHILLIPS G.O, WILLIAMS E.P.A (1987). **Wood and cellulosic: industrial utilization, biotechnology, structure and properties**. Hal- sted, New York, p 1130.

LEBLON, B.; ADEDIPE, O.; HANS, G.; HADDADI, A.; TSUCHIKAWA, S.; BURGER, J.; LAROCQUE, A. A review of near-infrared spectroscopy for monitoring moisture content and density of solid wood. **The Florestry Chronicle**, mattawa v. 89, n. 5, p. 595-606, 2013.

LEGNER, E.F. Fibers and plant fibers. University of California. 2011. Disponível em <http://www.Faculty.ucr.edu/legneref/botany/fibers.htm>. Acesso em dezembro de 2022.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. D. C. O. Características anatômicas e química da madeira de clones de Eucalyptus”, *Cerne*, v. 13, n. 2, pp. 123-129, 2007.

LIMA JÚNIOR, U. M. **Fibras da semente do açazeiro (*euterpe oleracea mart.*): avaliação quanto ao uso como reforço de compósitos fibrocimentícios**. 2007. Dissertação de mestrado. 145 p. Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia dos Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

LOBÃO, M.S.; LÚCIA, R.M.D.; MOREIRA, M.S.S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físicos-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.889-894, 2004.

LUZ, J.F.; LENZ, D.M. Compósitos de Polipropileno Virgem e Reprocessado com Fibra de Curauá Obtidos por Injeção. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, v. 1, p. 217-223, 2011.

MANO, E.B. "Polímeros como materiais de engenharia", **Ed. Edgard Blucher**, Ltda, São Paulo, SP. (1991).

MASCARENHAS, A. R. P.; SCATOLINO, M. V.; DIAS, M. C.; MARTINS, M. A., DE MELO, R. R.; MENDONÇA, M. C.; TONOLI, G. H. D. Association of cellulose micro/nanofibrils and silicates for cardboard coating: Technological aspects for packaging. **Industrial Crops and Products**, 188, 115667, 2022.

MARQUES, T.A.; PINTO, L. Energia da biomassa de cana-de-açúcar sob influência de hidrogel, cobertura vegetal e profundidade de plantio. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 680-685, 2013.

MELO FILHO, J.A. **Durabilidade Química e Térmica e Comportamento Mecânico de Compósitos de Alto Desempenho Reforçados com Fibras de Sisal**. 2012. 161 p. Tese de Doutorado. Programa de pós-graduação em engenharia civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

MESCHEDE, D.K.; VELINI, E.D.; CARBONARI, C.A.; TRINDADE, M.L.B.; GOMES, G. L.G.C. Efeitos do Glyphosate nos Teores de Lignina, Celulose e Fibra em *Brachiaria decumbens*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 1, p. 57-63, 2011.

MONTEBELLO, A.E.S.; BACHA, C.J.C. Impactos da reestruturação do setor de celulose e papel no Brasil sobre o desempenho de suas indústrias. **Estudos Econômicos**, v. 43, n. 1, p. 109-137, 2013.

MONTEIRO, M.B.O.; PEREIRA, R.P.W.; ABREU, H.S. Compositional Analysis of the Lignin of *Eucalyptus urophylla* Treated with JA e 2,4-D. **BBR-Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 1, n. 2, p. 48-56, 2012.

MORAIS, F. P.; BÉRTOLO, R. A.; CURTO, J. M.; AMARAL, M. E.; CARTA, A. M., EVTYUGIN, D. V. Comparative characterization of eucalyptus fibers and softwood fibers for tissue papers applications. **Materials Letters: X**, v. 4, p. 100028, 2019.

MORI, S. A.; CREMERS, G.; GRACIE, C.; GRANVILLE, J.; HOFF, M.; MITCHELL, J. Guide to the vascular plants of Central French Guiana. Part 1. New York: Botanical Garden, 1997, 76 p.

MOSCOSO, V.; BERNAZ, A.L.; SALOMÃO, R.P. Modelagem de nicho para doze espécies de plantas (seis espécies de madeira e seis palmeiras) na região amazônica, usando dados de coleta e pesquisa de campo. **Ecologia e Manejo Florestal**, v. 310, p. 652-662, 2013.

MULINARI, D. R. Compósitos de poliuretano reforçados com fibra de sisal. **Cadernos UniFOA**, v. 9 n. 1, p. 65-71, 2014.

MUSSANA, H., YANG, X., TESSIMA, M., HAN, F., IQBAL, N., & LIU, L. Preparation of lignocellulose aerogels from cotton stalks in the ionic liquid-based co-solvent system. **Industrial Crops and Products**, 113, 225-233. 2018.

MWAIKAMBO, L. Y.; ANSELL, M. P. Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 84, p. 2222-2234, 2002.

OH, S. Y.; YOO, D. I.; SHIN, Y.; KIM, H. C.; KIM, H. Y.; CHUNG, Y. S.; YOUK, J. H. Crystalline structure analysis of cellulose treated with sodium hydroxide and carbon dioxide by means of X-ray diffraction and FTIR spectroscopy. *Carbohydrate research*, 340(15), 2376-2391, 2005.

OLIVEIRA, A.N.; AMARAL, I.L. Florística e Fitossociologia de uma Floresta de Vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. *Acta Amazônica*, v. 34, p. 21-34, 2004.

OLIVEIRA, D. N. P. S. D. **Painéis de cimento Portland produzidos com fibra de mesocarpo do açai**. 2019. 78 p. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em ciências ambientais, Universidade Federal do Amapá. Macapá, 2019.

OLIVEIRA, I.R.C. **Propriedades mecânicas, físicas e químicas de compósitos cimentícios reforçados com fibras longas de juta e de malva**. 2013. 118 p. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia civil, Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2013.

OLIVEIRA, J.T.S; FILHO, M.T.; FIEDLER, N.C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de Eucalyptus. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.34, n.5, p.929-936, 2010.

PEREIRA, S.A; ALVES, H.P; SOUSA, C.M; COSTA, G.L.S. Exploração do conhecimento espécies amazônicas-inajá (*Maximiliana maripa* Aublt) e bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart). *Geintec*, v. 2, p. 110-122, 2013.

PINTO, R. G. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras de curauá (*Ananas erectifolius*) impregnadas com sílica ativa**. 2019. 128 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Pará, Belém, 2019

PROTÁSIO, P., T.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; JUNIOR, M. G.; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M. Brazilian lignocellulosic wastes for bioenergy production: characterization and comparison with fossil fuels. *BioResources*, v. 8, n. 1, p. 1166-1185, 2013.

QIN, C.; SOYKEABKAEW, N.; XIUYUAN, N.; PEIJS, T. The effect of fibre volume fraction and mercerization on the properties of all-cellulose composites. *Carbohydrate Polymers*, v. 71, p. 458-467, 2008.

RAMBABU, N.; PANTHAPULAKKAL, S.; SAIN, M.; DALAI, A. K. Production of nanocellulose fibers from pinecone biomass: evaluation and optimization of chemical and mechanical treatment conditions on mechanical properties of nanocellulose films. *Industrial Crops and Products*, 83, 746-754, 2016.

ROUISON, D.; COUTURIER, M.; SAIN, M.; MACMILLAN, B.; BALCON, B.J. Water absorption of hemp fiber/unsaturated polyester composites, *Polymer Composites*, p.510-524, 2005.

SÁ, B. S. R. **Obtenção e caracterização do compósito de polipropileno reciclado com fibra de palmeira-real (*Archontophoenix cunninghamiana*)**. 2019. 54 P. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019.

SALES, V. F. **Importância da preservação, potencialidades e viabilidade para exploração econômica de frutos de buriti**. 2016. 47 P. Monografia. Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2016.

SANCHEZ, E.M.S.; CAVANI, C.S.; LEAL, C.V.; SANCHEZ, C.G. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana de açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. **Polímeros**, v. 20, p. 194-200, 2010.

SANTOS, J.R. **A dinâmica territorial das indústrias de celulose e papel: a expansão no Brasil e a incorporação do Rio Grande do Sul**. 2012. 183 p. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da Palha de Cana de Açúcar para Produção de Etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.

SARAIVA, N.A. **Manejo Sustentável e Potencial Econômico da Extração do Buriti nos Lençóis Maranhenses**. 2009. 129 p. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, 2009.

SATO, M. K.; DE LIMA, H. V.; COSTA, A. N.; RODRIGUES, S.; PEDROSO, A. J. S.; DE FREITAS, M. C. M. B. Biochar from Acai agroindustry waste: Study of pyrolysis conditions. **Waste Management**, v. 96, p. 158-167, 2019.

SAVASTANO JUNIOR, H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. 2000. 152 p. Tese de livre-docência, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SCHMITZ, W.; HECK, T.C.; HERMANN, K.L.; VEGINI, A.A.; TAVARES, L.B.B. Levantamento sobre a produção de resíduos sólidos gerados no processamento de palmito em Santa Catarina, Brasil, **Revista de educação ambiental**, n. 63, 2019.

SGRICCIA, N.; HAWLEY, M.C.; MISRA, M. Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites. **Composites, Part A**, v.39, p. 1632–1637, 2008.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S.K.; MUNIZ, E.C.; RUBIRA, A.F.; Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v. 32, p.661-669, 2009.

SILVA, R.V. da. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibra vegetais**. 2003. 157p. Tese de Doutorado. Programa de pós-graduação em Ciências e engenharia de materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SPENCE, K.L.; VENDITTI, R.A.; ROJAS, O.J.; HABIBI, Y.; PAWLAK, J.J. Estudo comparativo do consumo de energia e das propriedades físicas da celulose microfibrilada produzida por diferentes métodos de processamento. **Cellulose**, v. 18, n. 4, p. 1097-1111, 2011.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY-TAPPI. **Tappi T280 pm-99 standard – Acetone extractives of wood and pulp**. USA: TAPPI Press, 2000.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY [TAPPI]. (2015). **TAPPI T 222: Acid-insoluble lignin in wood and pulp**. Tappi Press, 2015.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY [TAPPI]. (2017). **TAPPI T 204: Solvent extractives of wood and pulp**. Tappi Press, 2017.

TONOLI, G.H.D.; TEIXEIRA, E.M.; CORRÊA, A.C.; MARCONCINI, J.M.; CAIXETA, L. A.; PEREIRA, M.A.; MATTOSO, L.H.C. Cellulose micro/nanofibres from Eucalyptus kraft pulp: preparation and properties. **Carbohydrate polymers**, v. 89, n. 1, p. 80-88, 2012.

VELOSO, Y.M.S.; SOUZA, I.E.S.; SANTOS, J.V.; LEITE, M.S. Reutilização da Fibra da Casca do Coco Verde para Produção de Matéria Prima Industrial. **Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 1, n. 17, p. 91-98, 2013.

VIVIAN, M. A; MODES, K. S; CAETANO, A. P. Potencial da madeira de Pinus glabra para produção de polpa celulósica. **Madera y bosques**, v. 26, n. 3, 2020.

ZANUNCIO, A.J.V.; COLODETTE, J.L. Teores de Lignina e Ácidos Urônicos na Madeira e Polpa Celulósica de Eucalipto. **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 341-347, 2011.

ZULUAGA, R.; PUTAUX, J.L.; CRUZ, J.; VÉLEZ, J.; MONDRAGON, I.; GAÑÁN, P. Cellulose microfibrils from banana rachis: Effect of alkaline treatments on structural and morphological features. **Carbohydrate Polymers**, v. 76, p. 51–59, 2009.