

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS BLUMENAU  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL  
CURSO ENGENHARIA TÊXTIL

Taynara Thaís Flohr

**Extração e caracterização de fibra vegetal de folha de palmeira Tucum (*Bactris setosa*  
Mart.)**

BLUMENAU

2024

Taynara Thaís Flohr

**Extração e caracterização de fibra vegetal de folha de palmeira Tucum (*Bactris setosa*  
Mart.)**

Projeto para Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Têxtil do Centro Tecnológico de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Rafael Silva de Oliveira  
Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cátia Rosana Lange de Aguiar

BLUMENAU

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Flohr, Taynara Thaís

Extração e caracterização de fibra vegetal de folha de palmeira Tucum (*Bactris setosa* Mart.) / Taynara Thaís Flohr ; orientador, Carlos Rafael Silva de Oliveira, coorientadora, Catia Rosana Lange de Aguiar, 2024.

95 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Tucum. 3. Fibras Naturais. 4. Sustentabilidade. 5. Têxtil. I. Oliveira, Carlos Rafael Silva de. II. Aguiar, Catia Rosana Lange de. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Têxtil. IV. Título.

Taynara Thaís Flohr

**Extração e caracterização de fibra vegetal de folha de palmeira Tucum (*Bactris setosa* Mart.)**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenharia Têxtil, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Têxtil. Blumenau, 28 de junho de 2024.



Documento assinado digitalmente  
**GRAZYELLA CRISTINA OLIVEIRA DE AGUIAR**  
Data: 01/07/2024 09:50:00-0300  
CPF: \*\*\*.439.299-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof<sup>a</sup>. Grazyella Cristina Oliveira de Aguiar, Dr<sup>a</sup>  
Coordenadora de Curso

**Banca Examinadora:**



Documento assinado digitalmente  
**Carlos Rafael Silva de Oliveira**  
Data: 30/06/2024 17:26:01-0300  
CPF: \*\*\*.041.159-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. Carlos Rafael Silva de Oliveira, Dr.  
Orientador  
UFSC - Blumenau



Documento assinado digitalmente  
**Joziel Aparecido da Cruz**  
Data: 01/07/2024 08:50:04-0300  
CPF: \*\*\*.676.519-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. Joziel Aparecido da Cruz, Dr.  
UFSC - Blumenau



Documento assinado digitalmente  
**Afonso Henrique da Silva Júnior**  
Data: 30/06/2024 17:40:49-0300  
CPF: \*\*\*.032.531-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. Afonso Henrique da Silva Júnior, Dr.  
UFSC - Araranguá

Dedico este trabalho:

Aos meus pais, que me ensinaram a contar nos dedos.

À minha irmã, que me ensinou a contar de cabeça.

Ao meu noivo, que me ensinou a contar com coração.

E a todos com quem posso contar todos os dias.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu noivo, Allyson Mateos Freitag Binsfeld, por estar ao meu lado em todos os momentos. Sua paciência, compreensão e incentivo foram essenciais para que eu pudesse seguir em frente, mesmo nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Alírio Evaldir Flohr e Luciméri Hardt Flohr, minha gratidão eterna. Vocês sempre foram minha base, oferecendo amor incondicional, apoio e incentivo constantes. Obrigada por acreditarem em mim e por me ensinarem o valor da dedicação e do esforço. Um agradecimento muito especial ao meu pai, pelo auxílio na extração manual das fibras e pela paciência em me ensinar este processo.

À minha irmã, Mayra Letícia Flohr, meu agradecimento pela sua amizade, apoio e incentivo que foram fundamentais ao longo desta jornada. Obrigada por estar sempre ao meu lado, oferecendo palavras de conforto e por acreditar em mim.

Vocês quatro foram muito essenciais em todo esse período. Amo vocês!

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Rafael Silva de Oliveira, agradeço pela orientação, suporte e pelas valiosas contribuições ao longo deste trabalho. Agradeço por sua dedicação, conhecimento e por todas sugestões e críticas ao longo da pesquisa.

À minha coorientadora, Prof. Dra. Catia Rosana Lange de Aguiar, meu sincero agradecimento pelo suporte e pelas valiosas sugestões que enriqueceram ainda mais este estudo.

Ao professor Miguel Ângelo Granato pelo auxílio nas análises no DataColor. Meu sincero agradecimento aos professores e técnicos parceiros na obtenção das análises de caracterização das fibras, Adriano da Silva, Afonso H. da Silva Jr., Eduardo Cividini, Daniel F. da Cunha, Joziel A. da Cruz, e Leandro G. Nandi.

Aos membros da banca que aceitaram participar da avaliação técnica do meu trabalho de conclusão de curso, professores Joziel A. da Cruz, Afonso H. da Silva Jr. (externo), e Brenno H. S. Felipe (suplente).

À todos meus amigos, em especial, Alessandra Mateus Baranyi e Julia Durante Vidoto, por todos os trabalhos, conversas e apoio durante a Graduação.

À Universidade Federal de Santa Catarina e corpo docente do curso de Engenharia Têxtil pelo ensino de excelência.

Além das pessoas já mencionadas, gostaria de agradecer a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

“Não são nossas habilidades que mostram quem  
realmente somos. São as nossas escolhas.”

- Frase retirada do filme Harry Potter e a Câmara

Secreta

## RESUMO

O aumento do uso de fibras sintéticas na indústria têxtil gera preocupações ambientais e demanda alternativas sustentáveis. Entre essas alternativas, as fibras naturais, como as obtidas do Tucum (*Bactris setosa* Mart.), apresentam um potencial promissor, embora ainda sejam pouco exploradas. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo extrair e caracterizar essas fibras e avaliar suas propriedades para composição de produtos têxteis. Através de dois diferentes métodos de extração, o primeiro totalmente manual e o segundo utilizando ácido sulfúrico, analisou-se as propriedades físicas, químicas e mecânicas da fibra, buscando identificar seus pontos fortes e fracos. Foram realizados ensaios para verificar o comprimento, regain e comportamento frente a um pré-alveijamento oxidativo e tingimento, além de análises de MEV, FTIR, TGA, resistência mecânica e potencial Zeta. O comprimento médio da fibra extraída manualmente foi de  $25,8 \pm 6,5$  cm, enquanto as fibras extraídas com auxílio de ácido tiveram um comprimento menor de  $15,9 \pm 4,3$  cm. O regain encontrado para ambas as fibras foi de  $9,45\% \pm 0,67\%$ . Os processos de pré-alveijamento e tingimento se mostraram eficientes, com mecanismo de tingimento similar às demais fibras celulósicas. Já as análises realizadas através de MEV mostram que a fibra possui um formato delgado com um diâmetro médio de  $28,3 \mu\text{m}$ . Além disso foram identificadas estruturas de sílica com diâmetro de  $3,9 \mu\text{m}$  distribuídas ao longo da fibra. Por meio do FTIR, verificou-se características típicas de matérias vegetais, tais como celulose, hemiceluloses e lignina, observando também alterações nas fibras tratadas. Já a partir do TGA foi possível estimar que a fibra *in natura* é constituída de aproximadamente 66,2% de celulose e hemicelulose e 22,7% de lignina, apresentando leves alterações na estabilidade térmica das fibras previamente tratadas. A resistência mecânica da fibra apresentou um módulo de elasticidade de 0,56 GPa e resistência a tração de 949 MPa, superando fibras convencionais, como o algodão e o sisal. E por fim, o potencial Zeta foi negativo nas análises de pH ácido e alcalino devido à ionização de grupos funcionais. Diante dos resultados, conclui-se que as características da fibra de Tucum, como boa resistência à tração, tingibilidade com corantes diretos e propriedades adequadas para processamento têxtil, a colocam como uma alternativa sustentável e promissora para a indústria têxtil, abrindo um leque de oportunidades para o desenvolvimento de novos produtos.

**Palavras-chave:** Fibras naturais. Tucum. Sustentabilidade. Têxtil.

## ABSTRACT

The increased use of synthetic fibers in the textile industry raises environmental concerns and demands sustainable alternatives. Among these alternatives, natural fibers, such as those obtained from Tucum (*Bactris setosa* Mart.), show promising potential, although they are still underexplored. Therefore, this study aimed to extract and characterize these fibers and evaluate their properties for textile product composition. Using two different extraction methods, the first entirely manual and the second utilizing sulfuric acid, the physical, chemical, and mechanical properties of the fiber were analyzed to identify its strengths and weaknesses. Tests were conducted to verify the length, regain, and behavior under oxidative pre-bleaching and dyeing, in addition to SEM, FTIR, TGA, mechanical strength, and Zeta potential analyses. The average length of the manually extracted fiber was  $25.8 \pm 6.5$  cm, while the acid-assisted extracted fibers had a shorter length of  $15.9 \pm 4.3$  cm. The regain for both fibers was  $9.45\% \pm 0.67\%$ . The pre-bleaching and dyeing processes proved efficient, with dyeing mechanisms similar to other cellulosic fibers. SEM analyses showed that the fiber has a slender shape with an average diameter of  $28.3 \mu\text{m}$ . Additionally, silica structures with a diameter of  $3.9 \mu\text{m}$  were identified along the fiber. FTIR indicated typical characteristics of plant materials, such as cellulose, hemicellulose, and lignin, also noting changes in the treated fibers. From the TGA, it was possible to estimate that the raw fiber is composed of approximately 66.2% cellulose and hemicellulose and 22.7% lignin, showing slight changes in the thermal stability of the pre-treated fibers. The mechanical strength of the fiber showed a modulus of elasticity of 0.56 GPa and tensile strength of 949 MPa, surpassing conventional fibers like cotton and sisal. Lastly, the Zeta potential was negative in both acidic and alkaline pH analyses due to the ionization of functional groups. In light of these results, it is concluded that the characteristics of Tucum fiber, such as good tensile strength, dyeability with direct dyes, and suitable properties for textile processing, position it as a sustainable and promising alternative for the textile industry, opening up a range of opportunities for the development of new products.

**Keywords:** Natural fibers. Tucum. Sustainability. Textile.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação das fibras têxteis.....	20
Figura 2 - Registros de ocorrências da espécie <i>Bactris setosa</i> Mart. no Brasil.....	27
Figura 3 - Mapa da distribuição geográfica da espécie <i>Bactris setosa</i> Mart. em SC.....	27
Figura 4 - Ilustrações da espécie <i>Bactris setosa</i> Mart.: (a) Hábito (b) Detalhe da infrutescência (c) Detalhe da folha.....	28
Figura 5 - (a) Touceira da qual foram retiradas amostras (b) Detalhe dos espinhos na pina (c) Detalhes dos espinhos no pecíolo.....	29
Figura 6 - Características de folhas pinadas.....	30
Figura 7 - Representação geral da estrutura de uma palmeira.....	31
Figura 8 - Diferenças das folhas (a) Folha pinada (b) Folha nova fechada.....	41
Figura 9 - Processo de extração das fibras de forma manual.....	42
Figura 10 - Extração das fibras (a) Dobra, formando vinco (b) Retirada da epiderme (c) Remoção das fibras ao longo da pina.....	42
Figura 11 - Preparo realizado para extração por via ácida (a) Corte das extremidades (b) e (c) Remoção dos espinhos laterais da pina.....	43
Figura 12 - Condições para extração por via ácida.....	44
Figura 13 - Acondicionamento das fibras para o processo.....	45
Figura 14 - Condições do pré-alveijamento.....	46
Figura 15 - Condições do tingimento.....	47
Figura 16 - Representação da metodologia usada para medir o comprimento da fibra.....	48
Figura 17 - Diferença de cor e aspectos das fibras extraídas por ambos métodos (a) Fibra extraída pelo método manual (b) Fibra extraída com solução ácida.....	52
Figura 18 - Comparação das amostras (a) Fibras antes do pré-alveijamento (b) Fibras após o processo de pré-alveijamento.....	53
Figura 19 - Comparação das amostras tintas e banhos residuais de tingimento (a) Algodão (b) Viscose (c) Tucum.....	54
Figura 20 - Histograma obtido através da análise dos comprimentos das fibras extraídas manualmente.....	56
Figura 21 - Formato da folha do tucunzeiro x comprimento das pinas.....	57
Figura 22 - Histograma obtido através da análise dos comprimentos das fibras extraídas utilizando ácido.....	58
Figura 23 - Diferença observada nas pinas utilizadas (a) Pina utilizada na extração por via ácida (b) Pina utilizada na extração manual da fibra <i>in natura</i> .....	59
Figura 24 - Análise de MEV das fibras de Tucum <i>in natura</i> . (a) Vista panorâmica longitudinal das fibras de Tucum, aumento de 300x e escala de 200 $\mu\text{m}$ ; (b) Vista longitudinal das fibras de Tucum, aumento de 7000x e escala de 5 $\mu\text{m}$ . (c) Análise de EDS da fibra de Tucum na região do espectro 20 da figura “b”. (d) Análise de EDS da fibra de Tucum na região do espectro 21 da figura “b”.....	62
Figura 25 - Análise de MEV das fibras de Tucum extraídas por diferentes métodos e fibra pré-alvejada. (a) e (b) Vista longitudinal da fibra <i>in natura</i> extraída manualmente, com aumentos de 300x e 5800x, respectivamente. (c) e (d) Vista longitudinal da fibra extraída manualmente e pré-alvejada com $\text{H}_2\text{O}_2$ , com aumentos de 295x e 7000x, respectivamente. (e)	

e (f) Vista longitudinal das fibras extraídas por via ácida, com aumentos de 200x e 5500x, respectivamente.....	64
Figura 26 - Gráfico de Tensão-Deformação da fibra de Tucum <i>in natura</i> .....	66
Figura 27 - Espectro de FTIR das fibras extraídas manualmente.....	68
Figura 28 - Espectro FTIR das fibras de tucum da espécie <i>Astrocaryum chambirra</i> Burret....	69
Figura 29 - Espectro FTIR da fibra de algodão.....	69
Figura 30 - Espectro FTIR da fibra de sisal.....	70
Figura 31 - Espectro de FTIR das fibras extraídas manualmente e pré-alvejadas com H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ...	71
Figura 32 - Espectro de FTIR das fibras extraídas por via ácida.....	72
Figura 33 - Análise da curva TGA e sua derivada DTG das fibras extraídas manualmente....	74
Figura 34 - Análise de TGA-DTG das fibras extraídas manualmente e pré-alvejadas com H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	76
Figura 35 - Análise de TGA-DTG das fibras extraídas por via ácida.....	77
Figura 36 - Potencial Zeta da fibra <i>in natura</i> .....	78

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diferentes espécies de Tucum no Brasil.....	24
Quadro 2 - Estudos de caracterização da fibra de Tucum.....	33
Quadro 3 - Materiais utilizados.....	39
Quadro 4 - Equipamentos utilizados.....	40
Quadro 5 - Regain comercial de fibras celulósicas.....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coordenadas colorimétricas para a fibra de Tucum cru e pré-alvejada.....	53
Tabela 2 - Grau de branco.....	54
Tabela 3 - Coordenadas colorimétricas dos diferentes substratos tintos.....	55
Tabela 4 - Valores mínimos, máximos, média e desvio padrão calculados a partir dos dados de comprimento das fibras extraídas manualmente.....	56
Tabela 5 - Valores mínimos, máximos, média e desvio padrão calculados a partir dos dados de comprimento das fibras extraídas com ácido.....	58
Tabela 6 - Valor médio do Regain, desvio padrão e coeficiente de variação.....	59
Tabela 7 - Comprimento das fibras de Tucum por extração manual.....	92
Tabela 8 - Comprimento das fibras de Tucum por extração manual.....	93
Tabela 9 - Valores obtidos no teste de Regain.....	95

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
PALF	Pineapple Leaves Fibers
SC	Santa Catarina
BA	Bahia
ES	Espírito Santo
MG	Minas Gerais
RJ	Rio de Janeiro
SP	São Paulo
PR	Paraná
RS	Rio Grande do Sul
AC	Acre
AM	Amazonas
RO	Rondônia
MS	Mato Grosso do Sul
MT	Mato Grosso
GO	Goiás
AP	Amapá
PA	Pará
TO	Tocantins
MA	Maranhão
SIBBR	Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy / Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
EDS	Energy-dispersive X-ray spectroscopy / Espectroscopia de raios X por dispersão em energia
TGA	Thermogravimetric analysis / Análise Termogravimétrica
DTG	Derivative Thermogravimetry / Termogravimetria derivada
RB	Relação de banho
CO	Algodão
CV	Viscose
pH	Potencial Hidrogeniônico
s.p.m	Sobre o peso do material
cm	Centímetro
µm	Micrômetro
m	Massa
mi	Massa inicial
mf	Massa final
mL	Mililitro
g	Gramas
g/L	Gramas por litro
t	Tempo
T	Temperatura
ATR	Reflexão Total Atenuada

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1 OBJETIVOS.....	17
<b>1.1.1 Objetivo geral.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>17</b>
1.2 JUSTIFICATIVA.....	17
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>19</b>
2.1 SUSTENTABILIDADE.....	19
<b>2.1.1 A importância da sustentabilidade no setor têxtil.....</b>	<b>19</b>
2.2 FIBRAS TÊXTEIS.....	20
<b>2.2.1 Classificação de fibras têxteis.....</b>	<b>20</b>
2.2.1.1 Fibras naturais celulósicas.....	21
2.2.1.2 Fibra natural de folha.....	21
2.3 BENEFICIAMENTO TÊXTIL.....	22
<b>2.3.1 Pré alveamento de fibras celulósicas.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.2 Tingimento de fibras celulósicas.....</b>	<b>23</b>
2.4 PALMEIRA TUCUM.....	24
<b>2.4.1 Classificação científica.....</b>	<b>25</b>
<b>2.4.2 Sobre a espécie.....</b>	<b>26</b>
2.5 EXTRAÇÃO DA FIBRA DE TUCUM.....	30
2.6 APLICAÇÕES DA ESPÉCIE <i>Bactris setosa</i> Mart.....	32
2.7 ESTUDOS DE CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE TUCUM JÁ REALIZADOS.....	32
2.8 PROCESSOS DE CARACTERIZAÇÃO.....	34
<b>2.8.1 Comprimento.....</b>	<b>34</b>
<b>2.8.2 Regain.....</b>	<b>34</b>
<b>2.8.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....</b>	<b>35</b>
<b>2.8.4 Tração.....</b>	<b>36</b>
<b>2.8.5 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).....</b>	<b>36</b>
<b>2.8.6 Análise termogravimétrica (TGA).....</b>	<b>37</b>
<b>2.8.7 Potencial Zeta.....</b>	<b>38</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>39</b>
3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	39
3.2 EXTRAÇÃO DAS FIBRAS DE TUCUM.....	40
<b>3.2.1 Extração manual das fibras de Tucum.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.2 Extração da fibra de Tucum com solução ácida.....</b>	<b>43</b>
3.3 PRÉ-ALVEJAMENTO DAS FIBRAS DE TUCUM.....	44
3.4 TINGIMENTO DAS FIBRAS DE TUCUM.....	46
3.5 COMPRIMENTO DAS FIBRAS DE TUCUM.....	48
3.6 REGAIN DAS FIBRAS DE TUCUM.....	48
3.7 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DAS FIBRAS DE TUCUM.....	48

3.8 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DAS FIBRAS DE TUCUM.....	49
3.9 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER DAS FIBRAS DE TUCUM.....	49
3.10 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DAS FIBRAS DE TUCUM.....	49
3.11 POTENCIAL ZETA DAS FIBRAS DE TUCUM.....	50
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>51</b>
4.1 EXTRAÇÃO.....	51
4.2 PRÉ ALVEJAMENTO.....	52
4.3 TINGIMENTO.....	54
4.4 COMPRIMENTO.....	56
<b>4.4.1 Comprimento das fibras de Tucum por extração manual.....</b>	<b>56</b>
<b>4.4.2 Comprimento das fibras de Tucum por extração ácida.....</b>	<b>57</b>
4.5 REGAIN.....	59
4.6 MEV.....	60
4.7 TRAÇÃO.....	64
4.8 FTIR.....	67
<b>4.8.1 Análise de FTIR da fibra extraída manualmente.....</b>	<b>67</b>
<b>4.8.2 Análise de FTIR da fibra pré-alvejada.....</b>	<b>70</b>
<b>4.8.3 Análise de FTIR da fibra extraída com ácido.....</b>	<b>71</b>
4.9 TGA.....	73
<b>4.9.1 Análise de TGA-DTG da fibra extraída manualmente.....</b>	<b>73</b>
<b>4.9.2 Análise de TGA-DTG da fibra pré-alvejada.....</b>	<b>74</b>
<b>4.9.3 Análise de TGA-DTG da fibra extraída com ácido.....</b>	<b>76</b>
4.10 POTENCIAL ZETA.....	77
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>80</b>
<b>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>82</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICE A - DADOS DE COMPRIMENTO DAS FIBRAS DE TUCUM.....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICE B - REGAIN.....</b>	<b>95</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A intensificação do uso de fibras sintéticas na indústria têxtil tem criado um alerta quanto à preservação ambiental, gerando a necessidade de repensar essas escolhas e buscar métodos mais sustentáveis de produção. Além disso, segundo Tahri *et al.* (2016), as fibras sintéticas apresentam algumas desvantagens quando comparadas com às fibras naturais, em termos de biodegradabilidade, reciclabilidade e consumo de energia. Nesse contexto, a busca por novas alternativas de fibras naturais para fins têxteis e fabricação de compósitos tem estimulado pesquisas sobre o desenvolvimento de novos materiais de base biológica (Guimarães, 2014). Por serem renováveis e biodegradáveis, as fibras naturais geram menor impacto ambiental em comparação com as fibras sintéticas tradicionais (Gonçalves *et al.*, 2018). Porém, as fibras naturais obtidas de métodos tradicionais, como algodão, ainda geram impactos negativos no ambiente, ao longo de todo o ciclo de vida do produto (van der Velden; Patel; Vogtländer, 2013). Portanto, novas fibras, como a obtida do Tucum, tornam-se cada vez mais interessantes do ponto de vista de inovação e redução dos impactos ambientais causados pelas fibras convencionais (La Rosa; Grammatikos, 2019).

Desta forma, como problema de pesquisa, vê-se o alto consumo de fibras sintéticas, que apesar de serem mais baratas, são altamente poluentes e prejudiciais ao meio ambiente. Por tais razões, e sabendo que o Tucum é uma planta fibrosa com alto potencial de aplicação têxtil devido suas características de comprimento e finura bem como suas propriedades mecânicas, o presente trabalho apresenta uma investigação acerca da viabilidade de utilização das fibras da espécie *Bactris setosa* Mart.

A hipótese positiva do resultado desse trabalho é a fibra ser aplicável na indústria têxtil. Sobretudo, existe a possibilidade de através dos estudos realizados verificar que a fibra não possui os requisitos necessários para ser aplicada na área têxtil, contribuindo assim para outras áreas de estudo como a Engenharia de Materiais para utilização em compósitos.

A importância deste estudo reside na contribuição para a diversificação das fontes de fibras têxteis, reduzindo a dependência de recursos naturais limitados e não renováveis, além de promover práticas mais sustentáveis na indústria têxtil. Adicionalmente, valoriza-se a herança cultural incorporando suas técnicas tradicionais de produção de artigos.

Por meio desta pesquisa, espera-se abrir caminho para uma maior utilização das fibras de Tucum na indústria têxtil, incentivando a inovação sustentável e a preservação ambiental.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Extrair e caracterizar a fibra de Tucum obtida da espécie *Bactris setosa* Mart., e avaliar se suas propriedades são adequadas para a composição de produtos têxteis.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Investigar e comparar dois diferentes métodos de extração da fibra de Tucum, manual e por via ácida, e analisar como esses métodos influenciam nas propriedades das fibras;
- Determinar algumas das propriedades e características mais importantes da fibra, como comprimento, regain, resistência mecânica e sua morfologia;
- Realizar ensaios para estimar e entender a composição química da fibra de Tucum, sua estabilidade térmica e seu caráter iônico em diferentes pH;
- Discutir a aplicabilidade e potencialidades das fibras de Tucum, para a produção de produtos têxteis;
- Verificar o comportamento tintorial das fibras de Tucum utilizando corante direto, comparando com fibras já utilizadas, como o algodão.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos, questões relacionadas à sustentabilidade ambiental têm sido amplamente discutidas, especialmente quando relacionadas à produção industrial e seus impactos negativos gerados no meio ambiente, tornando-se um dos temas mais relevantes da atualidade (Guimarães, 2014). Nesse contexto, a indústria têxtil ganha destaque, por ser considerada um dos segmentos industriais mais poluentes do mundo (Halliday, 2022). Por tais

razões, há um aumento substancial na pesquisa e desenvolvimento de novos materiais derivados de fibras naturais (Guimarães, 2014).

As fibras vegetais são uma opção para reduzir os impactos ambientais causados por produtos têxteis na natureza (Leão, 2008). Fibras naturais são renováveis e biodegradáveis e geram um impacto ambiental menor em comparação com as fibras sintéticas tradicionais (Asim *et al.*, 2015). No entanto, a maioria dos estudos e inovações tem se concentrado em fibras já utilizadas e consolidadas no mercado como, por exemplo, o algodão e o linho.

O Tucum (*Bactris setosa* Mart.), uma palmeira nativa das Américas, tem sido historicamente utilizado pelas comunidades indígenas para diversas finalidades, incluindo a produção de fibras (Villa, 2021). No entanto, apesar do seu potencial como uma fonte de fibras naturais, o Tucum permanece relativamente sub-explorado na indústria têxtil. A ausência de pesquisas desta fibra apresenta uma oportunidade para a promoção da sustentabilidade têxtil e o desenvolvimento de novas fibras vegetais.

O presente trabalho de pesquisa visa preencher tal lacuna, concentrando-se na extração e caracterização de fibras de Tucum, explorando seu potencial como uma alternativa às fibras naturais convencionais e as fibras sintéticas amplamente utilizadas na indústria têxtil. Para atingir esse objetivo, será realizada uma análise de algumas das propriedades físicas, químicas e mecânicas da fibra de Tucum.

A importância deste estudo reside na contribuição para a diversificação das fontes de fibras têxteis, reduzindo a dependência de recursos naturais limitados e não renováveis, bem como na promoção de práticas mais sustentáveis na indústria têxtil. Além disso, ele também valoriza a herança cultural e o conhecimento das comunidades indígenas, incorporando suas técnicas tradicionais de produção de fibras, ao mesmo tempo que agrega valor a um material pouco aproveitado.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 SUSTENTABILIDADE

Segundo Schlenner (2019) o termo sustentabilidade deriva do latim “*sustentare*”, que significa sustentar, defender, favorecer, apoiar, conservar e/ou cuidar. Dessa forma, de acordo com a Organização das Nações Unidas, pode-se definir como “o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, garantindo a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações, é o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro.” Pode ser compreendido, também como um tripé formado pelo que é considerado ecologicamente correto, economicamente viável e socialmente responsável (Medeiros, 2022).

#### 2.1.1 A importância da sustentabilidade no setor têxtil

A indústria têxtil desempenha um papel significativo na economia global, fornecendo roupas, tecidos e produtos relacionados para uma população em constante crescimento. No entanto, essa indústria também é conhecida por seus impactos ambientais e sociais significativos. Segundo dados disponibilizados pela Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT) (2023), o Brasil possui a maior cadeia têxtil do Ocidente.

A intensificação no uso de fibras sintéticas, provenientes do petróleo, torna cada vez mais importante o reconhecimento de que os recursos naturais são finitos e de que dependemos deles para a sobrevivência humana, conseqüentemente destaca a necessidade da adoção de práticas sustentáveis (Capra, 2012 *apud* Schramm; Corbetta, 2015). A exploração desenfreada de recursos não renováveis não apenas contribui para a exaustão destes, mas também intensifica os impactos ambientais negativos, como a emissão de gases de efeito estufa durante a produção e descarte inadequado dos resíduos (Cortez, 2009).

Para amenizar esses efeitos, é necessária a adoção de abordagens sustentáveis em todas as fases da cadeia têxtil. Iniciativas como a preferência por fibras naturais, renováveis e biodegradáveis são passos cruciais para reduzir o impacto ambiental da indústria têxtil, que segue um modelo econômico de produção linear: “extrair, transformar e descartar” (Amaral, 2018).

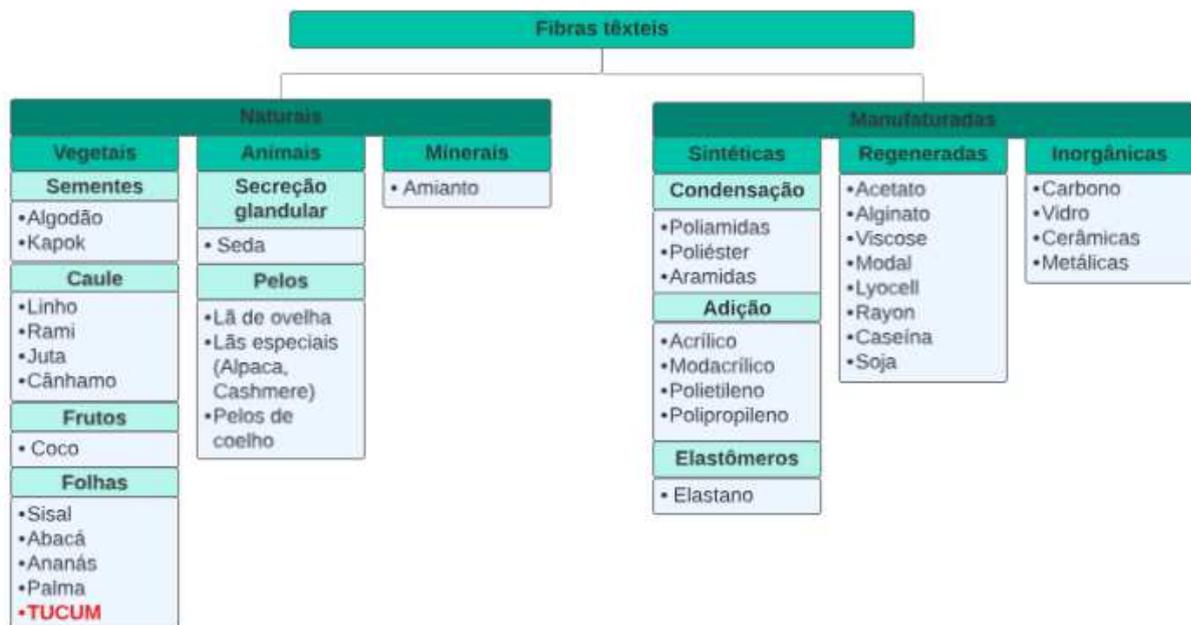
## 2.2 FIBRAS TÊXTEIS

### 2.2.1 Classificação de fibras têxteis

De acordo com Immich *et al.* (2022), uma fibra têxtil corresponde ao menor componente que pode ser extraído ou separado de um material têxtil, com elevada proporção entre comprimento e diâmetro e com características que permitem a sua transformação para aplicações têxteis. De maneira geral, as fibras têxteis são elementos filiformes<sup>1</sup>, flexíveis e de elevada finura (Kuasne, 2008).

As fibras podem ser classificadas de acordo com sua origem, desta forma fibra têxtil é o termo genérico para denominar materiais naturais ou não naturais (Kuasne, 2008) que possuem aplicabilidade dentro do setor têxtil, desta forma podem ser compreendidas como elemento base de substratos têxteis. Assim, as fibras têxteis são classificadas em duas classes, naturais e químicas, sendo categorizadas em subclasses, conforme a Figura 1. Apesar da fibra de Tucum não ser uma fibra convencionalmente utilizada, nesta classificação ela já consta incluída na subclassificação de fibras foliares.

Figura 1 - Classificação das fibras têxteis.



Fonte: Adaptado de Karmakar (1999) e Salem (2010).

<sup>1</sup> Refere-se a algo que tem a forma de um fio, ou seja, delgado e alongado.

### 2.2.1.1 Fibras naturais celulósicas

Segundo Salem (2010) “as fibras de origem vegetal são essencialmente constituídas de celulose, a qual se encontra sempre na natureza em combinação com outras substâncias, sendo a mais comum a lignina”, outros compostos encontrados são a hemicelulose, pectinas, proteínas, gorduras, ceras, óleos e pigmentos (Immich *et al.*, 2022). Dentro de uma mesma espécie fatores ambientais e formas de cultivo também podem interferir na composição e propriedades finais da fibra.

As fibras naturais podem ser classificadas de acordo com o local da planta de origem, sendo quatro grupos principais: fibras de semente, fibras de caule, fibras de folha e fibras de fruto. Com exceção das fibras de sementes e frutos, as fibras vegetais são células alongadas do esclerênquima, presentes principalmente em caules e folhas. Essas células possuem extremidades afiladas e paredes celulares espessas, geralmente lignificadas, conferindo resistência mecânica e rigidez à planta (Smole, *et al.* 2013).

### 2.2.1.2 Fibra natural de folha

As fibras de folha, como o próprio nome sugere, são obtidas de folhas de certas plantas e são constituídas essencialmente por celulose, com substâncias incrustantes e intercelulares (Kuasne, 2008). A celulose presente na fibra comporta-se como um material de reforço. Já os componentes não celulósicos, como hemicelulose, lignina, ceras, sal inorgânico e outros conteúdos ajudam a matriz a manter a fibra unida (Kumar, *et al.* 2021).

Essas fibras são também conhecidas como fibras duras devido ao alto teor de lignina, que proporcionam alta resistência, durabilidade e propriedades únicas, tornando-as versáteis para diversas aplicações. Geralmente encontradas em folhas monocotiledôneas, essas fibras costumam ser longas e rígidas (Ilvessalo-Pfäffli, 1995). As propriedades físico-mecânicas das fibras foliares são influenciadas por diversos fatores, como o método de extração, idade da planta, condições climáticas e processo técnico durante a colheita (Kiruthika, 2024).

A colheita das fibras ocorre em feixes longos e finos, principalmente através do processo de decorticação<sup>2</sup>, onde os tecidos não fibrosos são raspados das fibras vegetais à mão ou em uma máquina (Britannica, 2024).

---

<sup>2</sup> Ato de retirar a casca ou a camada externa de algo; descascar.

As principais fibras foliares conhecidas e utilizadas são o sisal obtido da espécie *Agave sisalana*, Abacá (*Musa textilis* Nee.), Ananás, também conhecida como Pineapple Leaves Fibers (PALF), extraída da espécie *Ananas bracteatus* (Mushtaq, *et al.* 2023).

Os compósitos de fibra de folha natural apresentam baixo desgaste de usinagem, baixo custo e excelente desempenho em aplicações de engenharia e, portanto, são estabelecidos como materiais de reforço superiores em comparação com outras fibras vegetais (Kumar, *et al.* 2021).

### 2.3 BENEFICIAMENTO TÊXTIL

O beneficiamento têxtil pode ser compreendido como o processo capaz de conferir aos substratos características que o enobrecem por meio do melhoramento de aspectos físicos, químicos e estéticos (Souza; Menezes; Barata, 2021). Esses processos podem ocorrer em diferentes etapas da cadeia produtiva, desde a matéria-prima até o produto final (Clark, 2011). Além disso, o beneficiamento pode ser dividido em três etapas: primário, também denominado preparação, secundário e terciário.

O beneficiamento primário é responsável pelo preparo do substrato para etapas subsequentes, como tingimento. É nessa etapa que ocorre a limpeza, realizando a remoção de sujidades, como impurezas intrínsecas da fibra ou sujidades do processo de fabricação, como óleos e graxas no caso de fibras manufaturadas (Karmakar, 1999; Clark, 2011).

O beneficiamento secundário consiste em aplicar cor aos substratos têxteis, por meio de processos de tingimento ou estamparia. Cada fibra possui um corante ou pigmento específico a ser utilizado, bem como condições apropriadas para a matéria-prima utilizada, a fim de garantir a qualidade do produto final (Salem, 2010).

Já o beneficiamento terciário compreende o acabamento do substrato, para adicionar e melhorar suas propriedades, visando além de uma mudança na aparência, adicionar características como a impermeabilidade, proteções como retardante de chamas e anti raios ultravioletas, brilho e toque (Twardokus, 2004 *apud* Souza; Menezes e Barata, 2021).

#### 2.3.1 Pré alveijamento de fibras celulósicas

O pré-alveijamento é um processo de beneficiamento primário que tem como objetivo remover impurezas das fibras como cera, graxas, gorduras e coloração natural das fibras, a fim de preparar o substrato para o tingimento (Aguiar *et al.*, 2022).

Segundo Piccoli (2014) o processo mais utilizado para o alveijamento de substratos têxteis envolve a combinação de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e hidróxido de sódio (NaOH). No qual, o  $H_2O_2$  é catalisado pelo NaOH, resultando na eliminação da coloração amarelada do substrato.

### 2.3.2 Tingimento de fibras celulósicas

O tingimento envolve uma alteração físico-química no substrato, promovido por um material corante, resultando em uma percepção de cor quando a luz é refletida (Salem, 2010). O processo de tingimento pode ser realizado através de dois processos distintos: contínuo e por esgotamento ou batelada.

No processo contínuo, a solução do corante é impregnada no substrato a partir de um processo de compressão que ocorre no Foulard. Nesse, o banho permanece em repouso, e o substrato passa por ele, sendo espremido mecanicamente, já a fixação do corante ocorre por meio de calor seco, vapor ou repouso prolongado (Salem, 2010).

Já no processo por batelada, há um contato frequente do banho e fibra, através da movimentação de um deles ou ambos, ocorrendo assim um deslocamento do banho para fibra. O processo por esgotamento requer um banho de tingimento muito mais volumoso que o processo contínuo (Salem, 2010).

De maneira geral, o tingimento depende da interação entre o corante e a fibra, sendo influenciado pela estrutura química do corante e pela estrutura da própria fibra, além das variáveis utilizadas no processo, como a temperatura, pH, tempo e concentrações de corantes. Outros fatores que influenciam na qualidade do tingimento, principalmente em uma boa igualização, são a montagem do corante e a sua velocidade de montagem (Aguiar *et al.*, 2022; Salem, 2010).

Corantes são compostos orgânicos responsáveis por conferir cor aos substratos têxteis, a partir de interações físico-químicas. Os corantes podem ser classificados por sua estrutura química ou então pela sua aplicação e fixação ao substrato (Salem, 2010; Guaratini; Zanoni 2000). É importante ressaltar que não existe no mercado hoje nenhum corante capaz de tingir

todas as fibras, bem como, não há nenhuma fibra que pode ser tingida por todos os corantes (Aguiar *et al.*, 2022). Os corantes utilizados para tingimento de fibras celulósicas são corantes reativos, diretos, azoicos e enxofre, sendo os mais utilizados os corantes reativos e diretos (Salem, 2010; Guaratini; Zanoni 2000).

## 2.4 PALMEIRA TUCUM

Segundo o dicionário brasileiro de língua portuguesa - Michaelis “Tucum é a denominação comum a diversas palmeiras, do gênero *Astrocaryum* e *Bactris*, nativas da América do Sul, especialmente do Brasil, do Paraguai e da Bolívia, com folhas que fornecem fibras e frutos comestíveis; tucunzeiro”.

O termo Tucum vem do tupi-guarani “*tu'kum*” e significa “agulha para costura”. A espécie recebe esse nome pois os índios brasileiros utilizavam seus espinhos para costurar (Sos Pantanal, 2020). Porém, o termo Tucum refere-se a diferentes tipos de palmeiras nativas do Brasil, conforme o Quadro 1. De maneira geral, todas as espécies possuem em comum serem palmeiras espinhosas.

Quadro 1 - Diferentes espécies de Tucum no Brasil.

<b>Espécie</b>	<b>Nome popular</b>	<b>Distribuição principal, estados</b>	<b>Domínio fitogeográficos</b>	<b>Referência</b>
<i>Bactris setosa</i> Mart.	Tucum, Ticum, Tucum-do-brejo, Tucum-do-cerrado	BA, ES, MG, RJ, SP, PR, SC, RS	Cerrado, Mata Atlântica, Pampa	Flora e Funga, 2023a
<i>Bactris hatschbachii</i> Noblick ex A.J.Hend.	Brejaúva-mirim, Tucum do cerro	SP, PR	Mata Atlântica	Flora e Funga, 2023b
<i>Bactris riparia</i> Mart.	Tucum, Marajá	AC, AM	Amazônia	Flora e Funga, 2023c

<i>Bactris glaucescens</i> Drude	Tucum, Tucum-branco, Tucum-azedo	RO, BA, MS, MT, GO	Amazônia e Cerrado	Flora e Funga, 2023d
<i>Astrocaryum huaimi</i> Mart.	Tucumã do brejo, Tucumã do goiás	RO, GO, MT	Amazônia e Cerrado	Flora e Funga, 2023e
<i>Astrocaryum vulgare</i> Mart.	Tucumã do Pará, Tucum-piranga, Tucum-bravo	AP, PA, TO, MA, GO	Amazônia e Cerrado	Flora e Funga, 2023f
<i>Astrocaryum chambirra</i> Burret	Tucum, Tucumã	AC, AM	Amazônia	Flora e Funga, 2023g

Fonte: Adaptado de Pennas (2019) e Re flora - Flora e Funga (2023).

Desta forma, a presente pesquisa explora as fibras retiradas das folhas da palmeira *Bactris setosa*, presente na mata atlântica brasileira, mais especificamente do sul da Bahia (BA) até o Rio Grande do Sul (RS). Portanto, ao longo do estudo, o termo “Tucum” será utilizado para designar a fibra originária das folhas da espécie *Bactris setosa*.

#### 2.4.1 Classificação científica

A palmeira *Bactris setosa* Mart. tem classificação científica seguindo a ordem:

- Reino: *Plantae*;
- Divisão: *Tracheophyta*;
- Classe: *Liliopsida*;
- Ordem: *Arecales*;
- Família: *Arecaceae*;
- Gênero: *Bactris*;
- Espécie: *Bactris setosa*;
- Nome binominal: *Bactris setosa* Mart.

Segundo Lorenzi e Negrelle (2006) “a família *Arecaceae*, anteriormente denominada *Palmae*, é constituída por um grupo de espécies genericamente conhecidas como palmeiras”. De acordo Dransfield *et al.* (2008) essa família é constituída de aproximadamente 252 gêneros, que são distribuídos em 2.600 espécies.

É uma família reconhecida pela sua importância econômica e ambiental, devido à grande diversidade de produtos que podem ser obtidos (Rosa *et al.*, 2021). As palmeiras constituem-se em importantíssima fonte de recursos, os quais são utilizados como alimentos, combustível, medicamentos caseiros ou confecção de utensílios e adornos domésticos e, em alguns casos, como matéria prima para as indústrias locais (Lorenzi; Negrelle, 2006).

O gênero *Bactris* é um gênero taxonômico que engloba diversas espécies de palmeiras, distribuídas principalmente nas regiões tropicais e subtropicais da América do Sul, América Central e Caribe (BioDiversity4All, 2023). O gênero abrange uma grande diversidade de espécies adaptadas a diferentes ambientes, desde florestas úmidas até áreas mais secas. Segundo Ferreira (2010) *apud* Flora e Funga do Brasil (2023h) é considerado o segundo maior gênero do Brasil, com 48 espécies, das quais a maior diversidade das espécies é encontrada na região Amazônica. Já as demais espécies estão localizadas na Mata Atlântica.

Algumas espécies de *Bactris* são notáveis por sua importância econômica, nutricional e cultural. Um exemplo é a pupunha (*Bactris gasipaes*), cujos frutos são amplamente consumidos e podem ser utilizados na produção de óleos e farinhas. Além disso, parte do seu caule pode ser utilizado para a produção de palmito (Rocha *et al.*, 2022).

#### 2.4.2 Sobre a espécie

A espécie de Tucum *Bactris setosa* Mart. é uma espécie endêmica do Brasil e nativa dos estados de Santa Catarina (SC) e RS. Segundo Lorenzi *et al.* (2010) e Soares *et al.* (2014) *apud* Elias (2018) “[trata-se de uma] espécie esciófita<sup>3</sup> [...] que tem preferência por solos úmidos e está distribuída desde o sul da BA até o RS [possuindo também ocorrências em demais estados brasileiros, como Goiás (GO), no centro-oeste, conforme Figura 2]”.

---

<sup>3</sup> Adaptada a se desenvolver em ambientes sombreados ou semi-sombreados, como no interior de uma floresta densa.

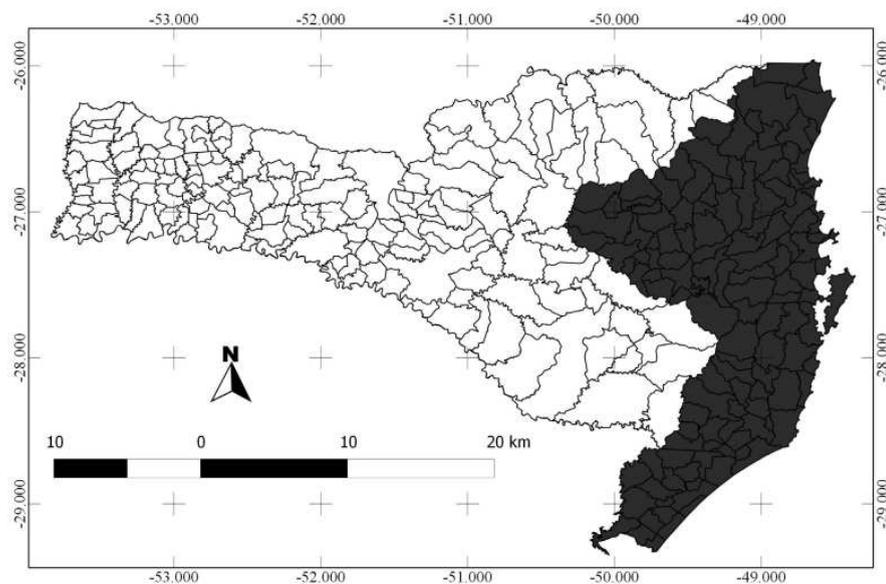
Figura 2 - Registros de ocorrências da espécie *Bactris setosa* Mart. no Brasil.



Fonte: Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira - SIBBR (2020).

Em SC está presente em toda a costa, de extremo norte ao extremo sul, estando presente também no Vale do Itajaí, como apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Mapa da distribuição geográfica da espécie *Bactris setosa* Mart. em SC.



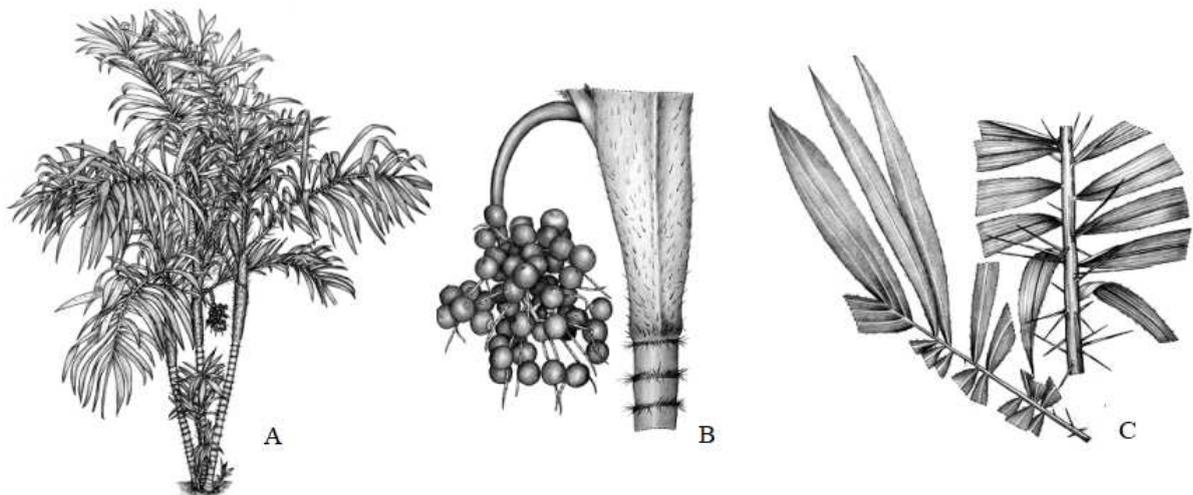
Fonte: Elias *et al.* (2018).

Segundo Ferreira (2010) *apud* Flora e Funga do Brasil (2023a) e Elias *et al.* (2018):

A espécie pode ser descrita como uma palmeira cespitosa, até 8 m de altura, formando touceiras densas em áreas abertas. Estipes múltiplos com 0,80-6 m de comprimento e 3-6 cm de diâmetro, armado com espinhos achatados, marrons ou amarelados e com a base negra, de 2-6 cm, dispostos em torno dos entrenós. Folhas pinadas, 4-10 por estipe, bainha, pecíolo e raque moderadamente armados de espinhos com até 6 cm; bainha de 18-33 cm de comprimento, com fibras claras; pecíolo com 0,20-1,10 cm; raque de 0,50-1,20 m, com 17-62 pinas lineares de cada lado, irregularmente distribuídas em grupos espaçados e dispostas em vários planos ao longo da raque. Inflorescência interfoliar, ramificada; pedúnculo de 12-28 cm de comprimento, recurvado, liso; perfilo de 9-19 cm; bráctea peduncular de 18-57 cm, marrom-tomentosa, moderadamente armada com espinhos amarelados ou negros, aberta durante a frutificação; raque de 10-18 cm de comprimento, com 10-25 raquilas com até 15 cm. Frutos maduros negros ou púrpura, quando maduros, globosos, 1-2,7 cm de diâmetro; a polpa é succulenta.

As características citadas também podem ser observadas nas ilustrações da espécie, nas Figuras 4 e 5.

Figura 4 - Ilustrações da espécie *Bactris setosa* Mart.: (a) Hábito (b) Detalhe da infrutescência (c) Detalhe da folha.



Fonte: Elias *et al.* (2018).

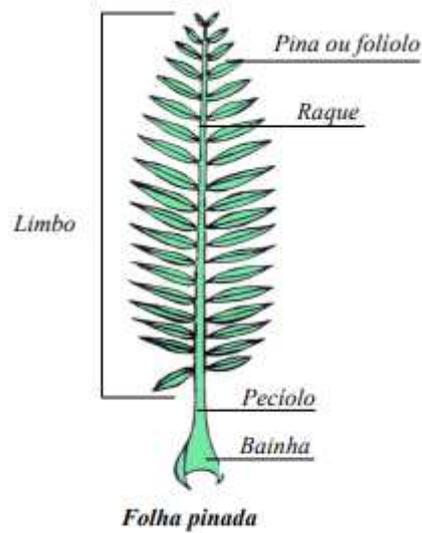
Figura 5 - (a) Touceira da qual foram retiradas amostras (b) Detalhe dos espinhos na pina (c) Detalhes dos espinhos no pecíolo.



Fonte: Autora (2024).

As características gerais de palmeiras, apresentadas na espécie e citadas por Ferreira (2010) *apud* Flora e Funga do Brasil (2023a) e Elias *et al.* (2018) podem ser identificadas na Figura 6 de Sodré (2005).

Figura 6 - Características de folhas pinadas.

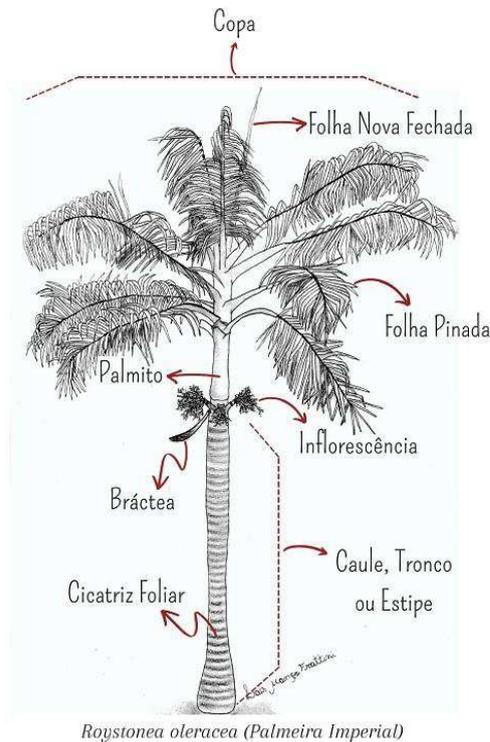


Fonte: Sodré (2005).

## 2.5 EXTRAÇÃO DA FIBRA DE TUCUM

Apesar de existirem diversas e diferentes espécies de Tucum, a extração da fibra se dá de maneira similar, em todos os casos. Segundo Garcia *et al.* (2014); Linares *et al.* (2008); Arboleda *et al.* (2007) *apud* Pennas (2019), as fibras de Tucum da espécie *Astrocaryum chambira* Burret são extraídas de folhas ainda não totalmente abertas, que ainda não se expandiram. A diferença entre folhas fechadas e folhas pinadas pode ser identificada na Figura 7, de Frattini (2021) que traz a representação geral de uma Palmeira Imperial.

Figura 7 - Representação geral da estrutura de uma palmeira.



Fonte: Frattini (2021).

De acordo com Fonseca-Kruel *et al.* (2006) de maneira manual extrai-se a fibra de Tucum da bainha foliar. Há também um descritivo sobre as fibras no “Tratado descritivo do Brasil em 1587” escrito por Gabriel Soares de Souza, no capítulo “Que trata de algumas folhas proveitosas que se criam no mato”:

“O Tocum é uma erva cujas folhas são como de cana-do-reino, mas mais curtas e brandas; a vara onde se criam é cheia de espinhos pretos, e limpa deles fica como roca-da-Índia. Estas folhas quebram os índios à mão, e tiram dela o mais fino linho do mundo, que parece seda, de que fazem linhas de pescar, torcidas a mão, e são tão rijas que não quebram com peixe nenhum. Este tocum, ou seda que dele sai, é pontualmente do toque da erva-da-Índia, e assim o parece; do qual se farão obras mui delicadas, se quiserem.”

Jensen e Balsev (1995) explicam bem o processo de extração da fibra:

“Um pedaço de nervura central perto da base da pina é separado da lâmina à mão. A base da lâmina é amolecida pela flexão repetida da área da qual a nervura central já foi removida. Então toda a lâmina é dobrada na área amolecida, e o ápice da pina é mantido sob o pé. Utilizando ambas as mãos, a epiderme e as fibras são removidas ao longo de toda a lâmina em direção ao ápice da pina. As fibras extraídas são coletadas em feixes.”

Medina (1959) também cita que depois de cortada a folha da palmeira, as pinas são separadas uma a uma e raspadas à mão com utensílios primitivos.

## 2.6 APLICAÇÕES DA ESPÉCIE *BACTRIS SETOSA* MART.

Conforme levantamento de dados realizado por Fonseca-Kruel *et al.* (2006) as fibras de Tucum eram muito utilizadas para confeccionar itens para pesca, como linhas e tarrafas/redes. Ainda segundo as pesquisas realizadas pelo grupo, uma rede de pesca feita a partir da fibra de Tucum durava aproximadamente 50 anos, sendo mais duráveis que as redes produzidas hoje, normalmente de poliamida.

Já de acordo com Fagundes (2009) “os fios, além de serem usados na confecção de utensílios de pesca, espinheis, tarrafas e redes, também tinham uso doméstico, [para produção de cestos] e chegavam a ser usados para costurar roupas.”

Além da fibra, os frutos e a amêndoa são comestíveis, assim como o palmito retirado da planta, sendo uma ótima fonte alimentar. Diversos estudos vêm sendo realizados referente à aplicação dos frutos devido suas atividades antioxidantes e anti-inflamatórias. Boeing *et al.* (2017) mostra que os extratos dos frutos são fonte de compostos bioativos com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias promissoras. Cunha e Arruda (2017) sugerem que o consumo de Tucum-do-cerrado pode promover um efeito anti-envelhecimento, aumentando a expressão da proteína SIRT1, que por sua vez diminui o dano oxidativo às proteínas e os níveis de citocinas inflamatórias, induzidos por excesso de ferro. Souza (2013) também realizou estudos de análise da proteção antioxidante promovida por extratos de Tucum-do-cerrado (*Bactris setosa*), onde os extratos foram capazes de proteger células vivas, lipídios e proteínas contra o dano oxidativo.

Também foram realizados estudos referentes a utilização do óleo obtido da amêndoa, como o estudo realizado por Vieira *et al.* (2012) no qual verificou-se o processamento de biodiesel a partir de óleo de Tucum (*Bactris setosa*) por rota metílica.

## 2.7 ESTUDOS DE CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE TUCUM JÁ REALIZADOS

Conforme levantamento realizado, já existem estudos sobre a caracterização e aplicação de diferentes espécimes de Tucum, como o estudo realizado por Pennas (2019) referente a caracterização da fibra de Tucum extraída *Astrocaryum chambirra* Burret.. Silva *et al.* (2009) também realizaram estudos referentes a extração e caracterização da fibra extraída da espécie *Bactris glaucescens* Drude, para utilização em nanocompósitos. Giacon e

Franca (2020) realizaram a caracterização da fibra proveniente da espécie *Bactris inundata*, visando sua utilização em compósitos poliméricos. Utilizando a mesma espécie, Pereira *et al.* (2002) realizaram uma avaliação das características morfológicas e da densidade das folhas de Tucum como fonte de fibras celulósicas para papel.

Referente a fibra extraída da espécie *Bactris setosa*, Duarte *et al.* (2012) já realizaram um breve estudo de algumas características da espécie.

O levantamento de trabalhos, de 2000 a 2024, de caracterização das fibras de Tucum está apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Estudos de caracterização da fibra de Tucum.

<b>Título</b>	<b>Ano</b>	<b>Espécie</b>
Extração e caracterização de fibras de Tucum ( <i>Bactris glaucescens</i> drude) provenientes do pantanal.	2009	<i>Bactris glaucescens</i> drude
Caracterização morfológica, química, mecânica e térmica da fibra de Tucum ( <i>Bactris inundata</i> ) visando sua utilização em compósitos poliméricos.	2021	<i>Bactris inundata</i>
Caracterização têxtil da fibra do Tucum ( <i>Astrocaryum chambira</i> Burret)	2019	<i>Astrocaryum chambira</i> Burret.
Morfologia e densidade básica das folhas de Tucum ( <i>Bactris inundata</i> Martius) como fonte de fibras celulósicas para papel.	2002	<i>Bactris inundata</i> Mart.
Obtenção e caracterização de nanoceluloses a partir da fibra de Tucum ( <i>Astrocaryum chambira</i> Burret.)	2023	<i>Astrocaryum chambira</i> Burret.
Ethnobotany of Natural Fibres - <i>Bactris setosa</i> (Tucum) in a Traditional Rural Community	2012	<i>Bactris setosa</i>

Fonte: Autora (2024).

## 2.8 PROCESSOS DE CARACTERIZAÇÃO

Diversas características das fibras, como comprimento, capacidade de absorção de umidade, resistência à tração, módulo de elasticidade, entre outras, desempenham um papel fundamental na determinação de suas aplicações (Motta; Agopian, 2007 *apud* Pennas, 2019).

No âmbito deste trabalho, foram realizadas análises físicas e químicas das fibras do Tucum para compreender suas características principais. Isso estabelece uma base de dados que pode ser utilizada em estudos futuros, explorando possíveis aplicações comerciais e industriais.

### 2.8.1 Comprimento

O comprimento é a dimensão da fibra em seu estado natural, desta forma refere-se à distância média entre as extremidades de uma única fibra (EEEP). Sua medição pode ser realizada por diversos métodos, como análise utilizando uma régua graduada, microscópica, ou por instrumentos específicos, como o fibrógrafo (Silveira, 2011; Pennas, 2019; Pereira, 2009).

Segundo Silveira (2011) a análise do comprimento é um parâmetro indispensável para conhecimento das fibras, sendo muito mais importante no caso das fibras naturais, visto que essas possuem variabilidades. O comprimento da fibra têxtil é uma propriedade fundamental que impacta diretamente na qualidade, no desempenho, podendo afetar na resistência, flexibilidade, processamento e nas propriedades finais dos produtos têxteis.

### 2.8.2 Regain

Segundo Silveira (2011) o regain (ou recuperação de umidade) “é o peso de vapor de água no material, expresso como % do material completamente seco”. De forma sucinta, é possível compreender o regain como o percentual de água que o material possui em relação ao seu peso seco. Portanto, o cálculo para verificação do Regain da fibra é realizado através da Equação 1, onde  $m_i$  é a massa inicial, da amostra úmida e  $m_f$  a massa final, após secar.

$$\text{Regain (\%)} = \frac{(mf - mi)}{mi} \times 100\% \quad (1)$$

As variações de umidade nas fibras, relacionadas à umidade relativa do ar, podem influenciar o peso da fibra. A quantidade de umidade natural nas fibras afeta suas propriedades, destacando a importância da determinação do teor de regain e umidade para a caracterização completa das fibras e avaliação de seu potencial de utilização. Portanto, a análise do teor de regain e umidade é crucial para uma compreensão precisa das propriedades das fibras têxteis (Pennas, 2019; Guimarães, 2014). A norma ASTM D2654-22 “*Standard Test Method for Moisture in Textiles*” se destaca como referência para a determinação precisa do regain, garantindo resultados confiáveis, padronizados e comparáveis.

### **2.8.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)**

A microscopia é uma técnica fundamental para a análise e caracterização de fibras, permitindo a visualização e o estudo de suas características morfológicas em detalhes (Houck, 2009). Através de diferentes técnicas microscópicas, é possível obter informações valiosas sobre a estrutura, composição e propriedades das fibras (Almeida, *et al.* 2006).

Marchi e Castro (2005) explicam que a microscopia óptica apresenta algumas limitações como mínimo contraste em foco, desta forma, a microscopia eletrônica é uma técnica mais detalhada para avaliação da superfície de materiais, incluindo polímeros como plásticos, filmes, membranas e compósitos. O uso da microscopia eletrônica de varredura (MEV), especialmente com o acessório EDS (Energy-dispersive X-ray spectroscopy), permite a análise da composição mineral em amostras possibilitando uma investigação minuciosa dos materiais (Guimarães, 2014).

O EDS é fundamental na caracterização microscópica de materiais, pois, ao incidir elétrons sobre um mineral, os elétrons externos dos átomos são excitados, liberando energia em forma de Raios-X quando retornam à posição inicial (Guimarães, 2014). A partir das informações é possível obter informações qualitativas e quantitativas acerca da composição da amostra em escala microscópica (Maliska, ).

A MEV é essencial para estudar a morfologia de fibras, fornecendo imagens tridimensionais, com profundidade visual, fácil preparação e alta resolução, que destacam

características superficiais, modificações, acabamentos, desgastes e causas de falhas (Sawyer; Grubb, 1996 *apud* Cardoso, 2009).

#### 2.8.4 Tração

O ensaio de resistência mecânica sob tração verifica o comportamento do corpo de prova através de uma força de deformação controlada aplicada ao longo do eixo da fibra, até sua ruptura, obtendo resultados em termos de tenacidade e módulo de Young (Canto; Pessan, 2004; Guimarães, 2014). Os resultados dos ensaios de resistência mecânica sob tração são obtidos com o curvas do tipo tensão *versus* deformação (Canto; Pessan, 2004). Reedy e Yang (2005) citam que comumente, “as fibras naturais têm uma tenacidade maior, associada a um menor alongamento, ou vice-versa”.

Segundo Hage (2004) “A tenacidade é a propriedade que representa a capacidade de um material se deformar durante a solitação mecânica, [isto é], é a habilidade de um material de absorver energia sem sofrer ruptura”.

Já o módulo de Young (E), também conhecido como o módulo de elasticidade em tração, é a razão entre a tensão de tração nominal ( $\sigma$ ) e a deformação correspondente ( $\epsilon$ ), abaixo do limite de proporcionalidade do material, dada pela Equação 2 (Canto; Pessan, 2004).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2)$$

De maneira geral, é uma medida da rigidez ou elasticidade de um material. Ele descreve como o material responde à aplicação de uma força ou carga, em termos de deformação. Quanto maior o módulo de Young, mais rígido é o material (Reedy; Yang, 2005).

#### 2.8.5 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

Espectroscopia é a ciência que investiga e mede a interação da radiação eletromagnética com a matéria (Souza; Lima; Oliveira, 2014). Cada tipo de molécula e átomo refletirá, absorverá ou emitirá radiação eletromagnética em sua própria maneira característica, por exemplo, nas regiões do infravermelho, ultravioleta, raios X e visível, desta forma a

espectroscopia usa essas características para detectar e analisar a composição de uma amostra (Souza; Lima; Oliveira, 2014).

A espectroscopia na faixa do infravermelho é uma das técnicas analíticas mais importantes disponíveis na identificação de compostos orgânicos e inorgânicos, podendo ser usada na caracterização de fibras, pois é capaz de identificar diferentes ligações químicas entre átomos por meio das deformações rotacionais e vibracionais, que absorvem energia em frequências específicas (Houck, 2009; Skoog, *et al.*, 2010 *apud* Souza; Lima; Oliveira, 2014).

A espectroscopia no infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) é uma técnica de análise instrumental que utiliza espectroscopia infravermelha para estudar as propriedades vibracionais moleculares das amostras (Berthomieu; Hienerwadel, 2009). De maneira geral, segundo Kawano (2004), o espectrômetro FTIR obtém o interferograma e, a partir do método matemático de transformada de Fourier feita pelo computador, obtém o espectro IR natural, que é o perfil espectral de intensidade *versus* número de ondas.

### 2.8.6 Análise termogravimétrica (TGA)

Segundo Denari e Cavalheiro (2012) “A TGA pode ser dita como uma técnica que acompanha a variação da massa da amostra, em função da programação da temperatura”. Desta forma, pode-se compreender como um acompanhamento da perda de massa, resultante de uma transformação física (sublimação, evaporação, condensação) ou química (degradação, decomposição, oxidação) em função do tempo e da temperatura (Mothé; Azevedo, 2002).

Isso permite identificar faixas de temperatura onde a substância é estável e determinar a temperatura em que ela começa a se decompor. A técnica também pode ser usada para acompanhar o andamento de reações como desidratação, oxidação, combustão e decomposição (Matos; Machado, 2003a).

Os resultados são obtidos através de um gráfico que mostra tempo (t) ou temperatura (T) e o percentual de massa perdido (m), conforme a Equação 3.

$$m = f(T \text{ ou } t) \quad (3)$$

A partir disso é possível calcular a derivada primeira da TGA, conhecida como Termogravimetria derivada (DTG). Desta forma, a DTG é um arranjo matemático (Equação 4), no qual a derivada da variação de massa é registrada em função do tempo ou temperatura (Denari; Cavalheiro, 2012; Matos; Machado, 2003a).

$$\frac{dm}{dt} = f(T \text{ ou } t) \text{ ou } \frac{dm}{dT} = f(T \text{ ou } t) \quad (4)$$

### 2.8.7 Potencial Zeta

Quando um material entra em contato com um líquido, seus grupos funcionais superficiais se envolvem em reações químicas com o meio circundante. Essa interação gera uma carga superficial que atrai íons de carga oposta do líquido, levando à formação espontânea de uma camada dupla eletroquímica (Luxbacher, *et al.* 2016; Anton Paar, 2019).

O potencial Zeta ( $\zeta$ ), também conhecido como potencial eletrocinético, é uma medida da carga superficial de um material em contato com uma solução aquosa, sendo a soma da carga superficial inicial e da camada acumulada (Anton Paar, 2019; Bismarck, *et al.* 2000; Luxbacher, *et al.* 2016). Essa carga é fundamental para determinar a estabilidade da dispersão, influenciando fatores como aglomeração, floculação e sedimentação, bem como a interação dos compostos dissolvidos com a superfície sólida (Becker, *et al.* 2018; Anton Paar, 2019). No contexto das fibras têxteis, o potencial Zeta é uma ferramenta valiosa para caracterizar as propriedades de superfície e as interações dessas fibras com outros materiais, como processos de tingimento e acabamento (Luxbacher, *et al.* 2016; Bismarck, *et al.* 2000).

Para avaliar o potencial Zeta, é comum usar soluções com diferentes valores de pH. Isso permite observar como o pH afeta a carga superficial dos materiais, obtendo informações importantes sobre o comportamento eletrocinético. O ponto no qual o potencial Zeta é zero é conhecido como ponto isoelétrico, no qual, o material possui carga superficial nula (Santos, 2023). Instrumentos avançados permitem medições únicas em um pH específico ou em uma titulação que pode variar de pH 2 a 12 (ANFF, ).

Segundo dados da Anton Paar (2019) o potencial Zeta pode ser medido em superfícies macroscópicas ( $> 25 \mu\text{m}$ ) ou partículas dispersas em um líquido ( $< 25 \mu\text{m}$ ). A diferença entre ambos dita o método a ser utilizado, SurPASS ou eletroforese, respectivamente. Em seu estudo, Luxbacher *et al.* (2016) descrevem que o potencial Zeta em dispersões e emulsões

pode ser determinado por métodos eletroforéticos ou eletroacústicos, sendo um parâmetro importante na avaliação da estabilidade desses sistemas coloidais. No caso de superfícies sólidas macroscópicas, o potencial Zeta é obtido através da medição do potencial e da corrente de fluxo, fornecendo informações sobre a carga superficial e os grupos funcionais presentes na superfície.

### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo, são apresentados os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

#### 3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para realização deste trabalho foram utilizadas fibras retiradas de folhas já abertas da palmeira de Tucum *Bactris setosa* Mart., coletadas no bairro Vila Itoupava, na cidade de Blumenau em SC, com as coordenadas -49.12645426°42'22.3"S 49°07'35.0"W.

Os demais materiais utilizados estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Materiais utilizados.

<b>Material</b>	<b>Fornecedor</b>	<b>Descrição</b>
Ácido Sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Química Moderna	Ácido forte
Bioten MK T-SFE	MK Química	Detergente, umectante e emulgador
Peróxido de Hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	CRQ	Agente oxidante
Hidróxido de Sódio (NaOH)	Ciavikko	Álcali
Malha por trama de composição 100% algodão	Sem informação	Substrato têxtil
Malha por trama de composição viscose c/ elastano	Sem informação	Substrato têxtil
Pink Tricel NG-LRB	TMX	Corante têxtil

Colorswet DTU-M	ColorQuímica	Detergente e umectante
Ácido acético PA (CH <sub>3</sub> COOH)	CRQ	Agente de neutralização
Cloreto de sódio (NaCl)	Sem informação	Eletrólito
Régua	Maped	Régua graduada de 30 cm

Fonte: Autora (2024).

No Quadro 4 são apresentados os equipamentos utilizados nas análises e experimentos, juntamente com seus respectivos modelos e fabricantes.

Quadro 4 - Equipamentos utilizados.

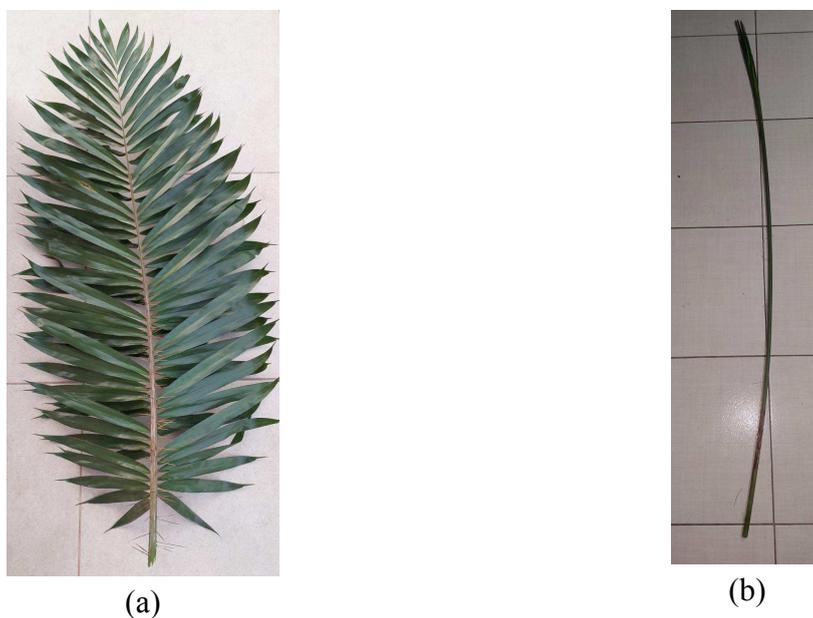
<b>Material</b>	<b>Modelo</b>	<b>Fabricante</b>
Balança analítica	ATX	Shimadzu
Medidor de pH	PHS-3E	Satra
Estufa	Luca-82/221	Lucadema
Máquina de tingimento	HT IR Dyer TC 2200	Tex Control
Espectrofotômetro de Reflectância UV/Visível	Spectrum 500	Datacolor
Espectrofotômetro de Infravermelho	Tensor 27	Bruker
Microscópio Eletrônico de Varredura	Mira	Tescan
Análise Termogravimétrica	TGA/SDT Q600	TA Instruments
Potencial Zeta	SurPASS 2	AntonPaar
Análise mecânica	TA.HDplus	Stable Micro Systems

Fonte: Autora (2024).

### 3.2 EXTRAÇÃO DAS FIBRAS DE TUCUM

As fibras de Tucum utilizadas neste trabalho foram extraídas de duas formas distintas, a primeira sendo uma extração manual, seguindo os saberes dos antepassados (método adaptado de Jensen e Balsev (1995)) e a segunda foi uma extração utilizando uma solução ácida realizada com ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), método definido pela autora e orientador. Diferentemente do citado na literatura, por Garcia *et al.* (2014); Linares *et al.* (2008); Arboleda *et al.* (2007) *apud* Pennas (2019), as folhas utilizadas são folhas pinadas, que já se expandiram. A Figura 8 mostra a diferença de uma folha pinada para uma folha fechada da espécie.

Figura 8 - Diferenças das folhas (a) Folha pinada (b) Folha nova fechada.



Fonte: Autora (2024).

### 3.2.1 Extração manual das fibras de Tucum

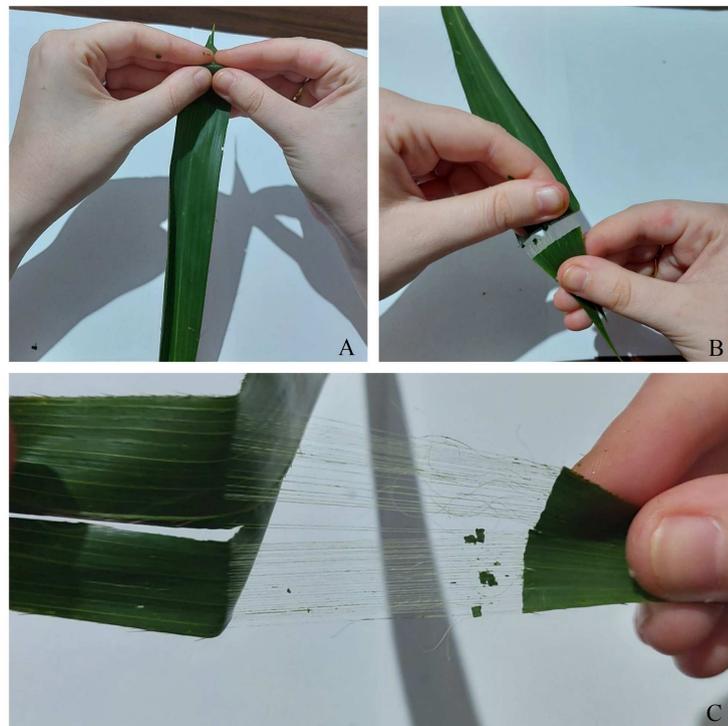
Para extração da forma manual (Figura 9) das fibras, removia-se a pina do raque da folha. Após, fez-se uma dobra próximo a ponta da pina, deixando um vinco (Figura 10a), puxando em seguida a epiderme das folhas (Figura 10b), fazendo a remoção das fibras ao longo de toda pina (Figura 10c). Em um mesmo folíolo é possível repetir esse processo até 5 vezes.

Figura 9 - Processo de extração das fibras de forma manual.



Fonte: Autora (2024).

Figura 10 - Extração das fibras (a) Dobra, formando vinco (b) Retirada da epiderme (c) Remoção das fibras ao longo da pina.



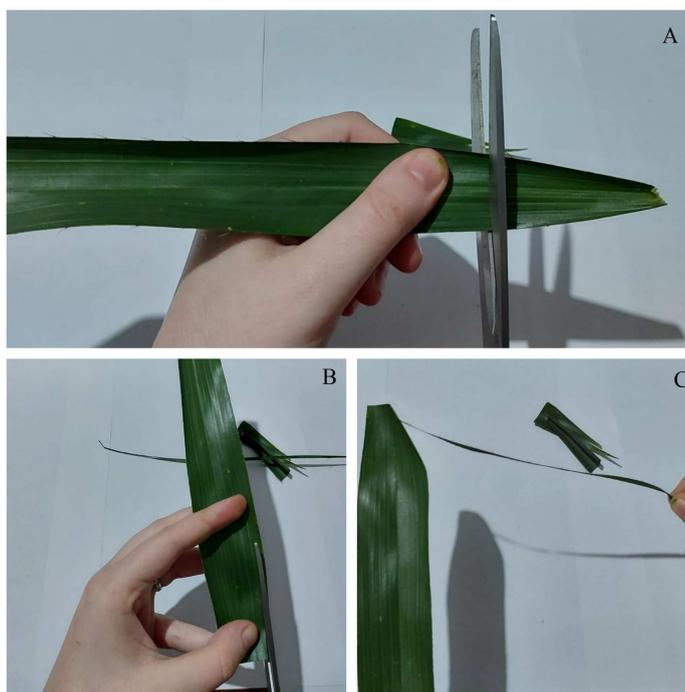
Fonte: Autora (2024).

### 3.2.2 Extração da fibra de Tucum com solução ácida

Considerando que o método tradicional de extração manual é lento e trabalhoso, outros métodos foram buscados, desta forma realizou-se um tratamento de degradação ácida leve às folhas. Esse processo envolve a aplicação de uma solução de ácido diluído, nas folhas de Tucum por um período de tempo controlado e visa enfraquecer a matriz de pectina e lignina que envolve as fibras de celulose, facilitando sua separação e individualização. Dessa forma, há uma redução no tempo e esforço necessários para a extração manual.

Diferente da extração manual, utilizou-se fibras secas (colhidas há 1 semana) e realizou-se um preparo nas pinas, fazendo um corte, com tesoura, em ambas extremidades e removendo os espinhos laterais (Figura 11).

Figura 11 - Preparo realizado para extração por via ácida (a) Corte das extremidades (b) e (c) Remoção dos espinhos laterais da pina.

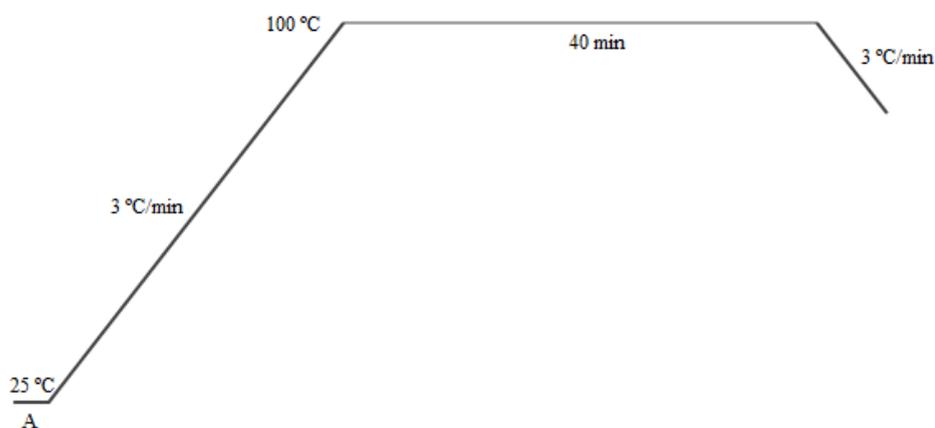


Fonte: Autora (2024).

Após isso, preparou-se uma solução de 50 mL com ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), detergente Bioten MK T-SFE e água deionizada. A quantidade de  $H_2SO_4$  utilizada dependeu

da massa de folhas colocadas. Os ensaios foram realizados em máquina HT IR Dyer TC 2200. Os demais parâmetros utilizados estão apresentados na Figura 12.

Figura 12 - Condições para extração por via ácida.



Etapa de dosagem	Auxiliar	Concentração
A	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Para massa de folha até 0,6 g usar 8 mL/L
		Para massa de folha de 0,6 g até 0,9 g usar 10 mL/L
	Bioten MK	
	T-SFE	3 g/L

Fonte: Autora (2024).

Após este processo, as folhas foram lavadas em água corrente e foi realizada a remoção, manual, da capa protetora das fibras, individualizando-as. O processo foi simplificado quando comparado a extração tradicional, porém neste método é possível fazer apenas uma extração em uma pina, diferentemente das até 5 extrações possíveis no método inteiramente manual.

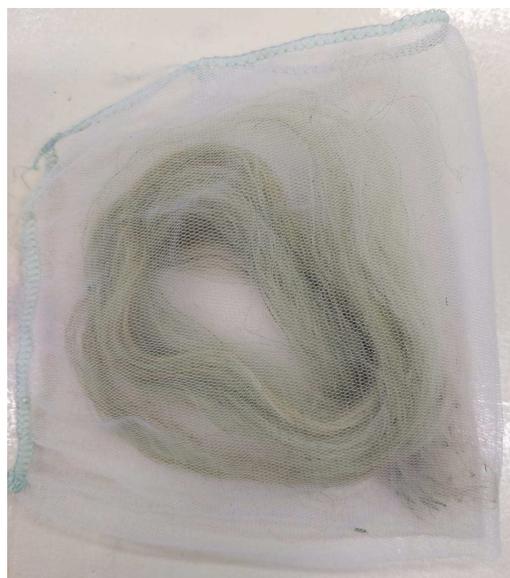
### 3.3 PRÉ-ALVEJAMENTO DAS FIBRAS DE TUCUM

Após a extração, as fibras passaram por um processo de pré-alvejamento oxidativo, usando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 50% como agente oxidante e NaOH 50% para ativar a reação oxidativa e, remover sujeiras, impurezas e a pigmentação natural. O objetivo deste processo é garantir a

limpeza das fibras e prepará-las para a etapa seguinte de tingimento. Para uma limpeza mais eficiente, foi adicionado o detergente sinérgico, umectante e emulgador com alto poder de detergência de baixa formação de espuma Bioten MK T-SFE, da MK Química.

As condições de processo seguiram métodos descritos por Salem (2010), com os auxiliares químicos sendo dissolvidos em água deionizada. As fibras foram amarradas nas extremidades e no meio com um barbante e acondicionadas em um “saquinho de tecido de filó” (Figura 13), a fim de não causar nós a fibra ao longo do processo, que dificultariam o manuseio posterior.

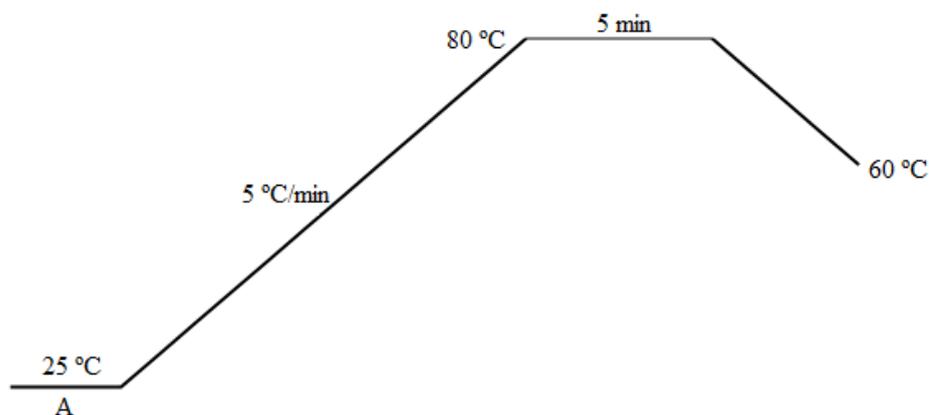
Figura 13 - Acondicionamento das fibras para o processo.



Fonte: Autora (2024).

O processo de pré-alveamento foi realizado utilizando a máquina de tingimento HT IR Dyer Texcontrol 2200, com uma temperatura de 80 °C por 5 minutos. A relação de banho (RB) utilizada foi de 1:100, isto é, a cada 1 g de fibra foram utilizados 100 mL de solução. Os demais parâmetros utilizados estão apresentados na Figura 14.

Figura 14 - Condições do pré-alveijamento.



Etapa de dosagem	Auxiliar	Concentração
A	NaOH	2 g/L
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2 g/L
	Bioten MK T-SFE	2 g/L

Fonte: Autora (2024).

Após o pré-alveijamento, o banho residual foi descarregado a 60 °C e as amostras foram enxaguadas em uma solução de ácido acético para neutralizar o pH. Após a neutralização, realizou-se um enxágue com água deionizada e a amostra foi levada à estufa para secagem em temperatura de 80 °C.

Em seguida, a fim de avaliar a mudança de cor e o grau de branco as amostras foram analisadas em espectrofotômetro de reflectância Datacolor® Spectrum 500.

### 3.4 TINGIMENTO DAS FIBRAS DE TUCUM

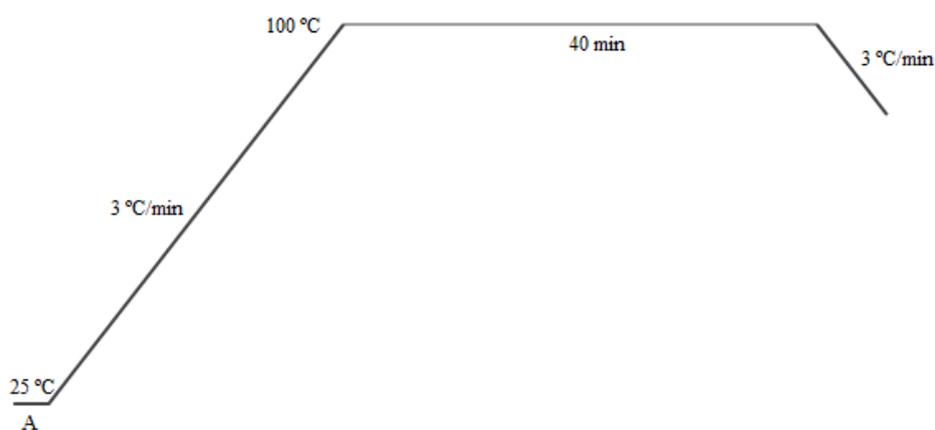
Com o objetivo de verificar o comportamento tintorial das fibras de Tucum frente a corantes que tingem celulose, realizou-se o tingimento das fibras pré-alveijadas, utilizando corante direto.

Os ensaios foram realizados em máquina de tingimento HT IR Dyer TC 2200, sendo a massa de cada amostra de 0,5 g e RB de 1:20. O corante utilizado foi o corante direto Pink Tricel NG-LRB, da TMX, em proporção de 1% sobre o peso do material (s.p.m.). O dispersante utilizado foi o Colorswet DTU-M. O pH dos banhos de tingimento foi mantido em 7,0.

Da mesma forma como feita no pré-alveamento, as fibras foram acondicionadas em um saquinho durante o tingimento.

Para fins comparativos, realizou-se também o tingimento de uma amostra de tecido 100% Algodão (CO) e uma amostra de tecido viscose (CV) com elastano. Os demais parâmetros utilizados estão apresentados na Figura 15.

Figura 15 - Condições do tingimento.



<b>Etapa de dosagem</b>	<b>Auxiliar</b>	<b>Concentração</b>
A	Pink Tricel NG-LRB	1% s.p.m.
	NaCl	15 g/L
	Colorswet DTU-M	1 g/L

Fonte: Autora (2024).

Após o procedimento, as amostras foram enxaguadas em água deionizada sob temperatura ambiente e posteriormente secas em estufa a 80 °C e armazenadas em local seco e ao abrigo da luz.

Posteriormente verificou-se os parâmetros colorimétricos dos substratos têxteis através do espectrofotômetro Datacolor® 500. Nesse processo, foram feitas medições das coordenadas L\*, a\* e b\* do espaço de cor CIELab, além da medição de K/S para determinar a força colorística. As medições foram realizadas excluindo o componente especular, utilizando uma abertura pequena de 9 mm e sem a aplicação de filtro de 100% UV.

### 3.5 COMPRIMENTO DAS FIBRAS DE TUCUM

A determinação do comprimento das fibras de Tucum foi realizada de maneira manual, utilizando régua, conforme método utilizado por Guimarães (2014) e Pennas (2019). A Figura 16 é uma representação de como foi realizada essa medição, visto que para fins visuais utilizou-se várias fibras, quando na realidade cada medição foi realizada utilizando uma única fibra.

Figura 16 - Representação da metodologia usada para medir o comprimento da fibra.



Fonte: Autora (2024).

### 3.6 REGAIN DAS FIBRAS DE TUCUM

O método utilizado para obtenção do regain foi adaptado dos métodos utilizados por Cesa (2017), Guimarães (2014) e Pennas (2019). A quantidade de umidade foi determinada pela pesagem das amostras de fibras acondicionadas, por 24h, a 20 °C e 65% de umidade relativa. O experimento foi conduzido através de secagem em estufa a 70 °C até atingir peso constante. O experimento foi realizado em quintuplicata utilizando fibras *in natura*, pré alvejadas e tintas. Após a obtenção dos valores, os mesmos foram aplicados na Equação 1, encontrando o percentual do Regain.

### 3.7 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DAS FIBRAS DE TUCUM

As imagens de MEV foram coletadas em equipamento Tescan Field Emission Gun (SEM-FEG) diretamente no ITO modificado utilizando detector de elétrons secundários e operando a 10 kV. As ampliações utilizadas para essas análises foram realizadas até 7000x. A EDS foi realizada no mesmo equipamento utilizando um acessório Oxford.

Antes de realizar as imagens, as fibras foram preparadas e revestidas de ouro, uma vez que as amostras são isolantes e os materiais de recobrimento são condutores elétricos, desta forma o recobrimento com ouro foi utilizado para garantir a incidência do feixe de elétrons sobre a amostra durante a análise.

### 3.8 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DAS FIBRAS DE TUCUM

As análises mecânicas de resistência à tração foram realizadas em um equipamento modelo TA.HD.plus Texture Analyser (Stable Micro Systems), utilizando uma célula de carga de 50 Kg.

### 3.9 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER DAS FIBRAS DE TUCUM

Para analisar os constituintes das fibras, as amostras foram examinadas pela técnica de FTIR, nos comprimentos de onda de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ , registrando 20 varreduras em modo de reflexão total atenuada (ATR) em equipamento Bruker (4  $\text{cm}^{-1}$  de resolução).

Foram avaliados as amostras de fibras extraídas manualmente, fibras extraídas por via ácida e fibras pré-alvejadas. Dessa forma, pode ser realizada uma análise da presença de diferentes grupos funcionais na estrutura dos materiais, devido a interação das moléculas ou átomos com radiação eletromagnética durante o processo de vibração molecular.

### 3.10 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DAS FIBRAS DE TUCUM

Os ensaios de TGA da fibra vegetal extraída, pelos dois métodos de extração, foram conduzidos entre 30 °C e 800 °C em uma atmosfera de ar sintético e temperatura de aquecimento de 10 °C/min. O equipamento utilizado foi o TGA/SDT Q600.

Para realização do ensaio a amostra é acondicionada em um cadinho, levado ao forno. A medida que o ensaio é realizado, o software do equipamento gera o gráfico de percentual de perda de massa x temperatura e sua derivada correspondente, a DTG.

### 3.11 POTENCIAL ZETA DAS FIBRAS DE TUCUM

A carga superficial da fibra *in natura* foi investigada por medidas de Potencial Zeta, para isso foi utilizado um equipamento modelo Anton-Paar SurPASS 2. As análises foram realizadas realizando a variação de pH de 4 até 10.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 EXTRAÇÃO

A extração da fibra de Tucum se mostrou eficiente em ambos os métodos propostos, evidenciando a viabilidade das técnicas. Algumas diferenças entre as extrações foram notadas, como:

- Número de Extrações: A extração manual permite até 5 extrações de uma mesma pina, enquanto a extração ácida limita-se a uma única extração. Isso faz com que o método manual seja mais vantajoso em termos de rendimento da fibra.
- Cor da Fibra: As fibras extraídas pelo método ácido apresentam coloração mais clara, sem o tom esverdeado característico do método manual. Essa diferença pode ser atribuída à remoção de pigmentos naturais durante o processo ácido.
- Tempo de Processo: A extração manual é consideravelmente mais trabalhosa que a extração por via ácida, porém o tempo de processamento é maior na fibra por via ácida considerando o período que a fibra fica no banho, de 40 min. Assim, apesar de mais trabalhosa a extração manual se mostra mais rápida.
- Textura da Fibra: As fibras extraídas por método ácido apresentam uma aparência mais lisa e uniforme, enquanto as fibras extraídas manualmente apresentam um aspecto crimpado. Essa diferença pode estar relacionada à ação mecânica mais intensa do método manual, que causa a ruptura da estrutura natural da fibra.

As principais diferenças visuais são apresentadas na Figura 17.

Figura 17 - Diferença de cor e aspectos das fibras extraídas por ambos métodos (a) Fibra extraída pelo método manual (b) Fibra extraída com solução ácida.



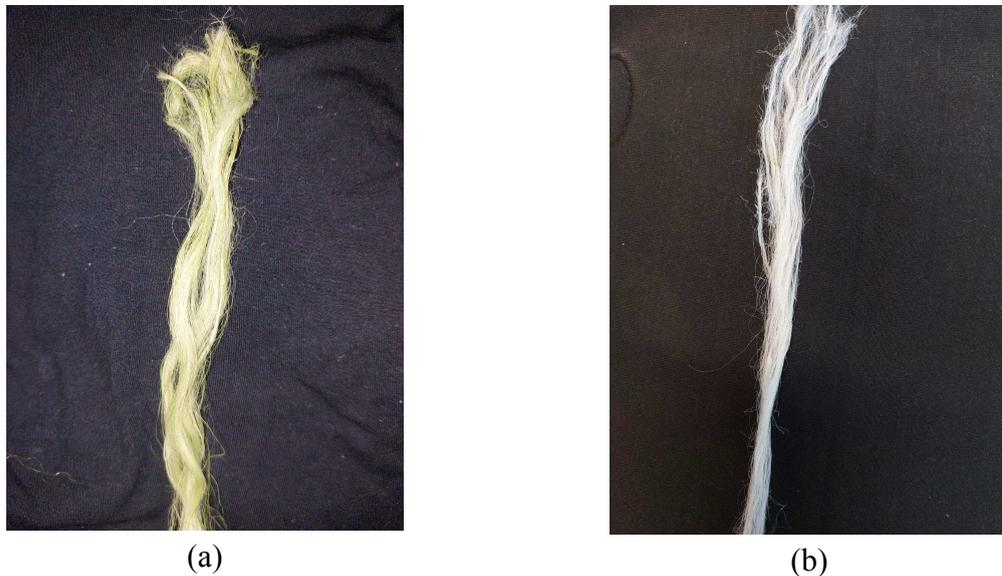
Fonte: Autora (2024).

A fibra extraída pelo processo manual não faz uso de produtos químicos, podendo ser considerada mais sustentável quando comparada a obtida pela extração ácida, que utiliza ácido sulfúrico para a extração da fibra. A utilização de produtos químicos no método ácido pode gerar resíduos poluentes e impactos negativos ao meio ambiente. Porém, a condição de cor mais clara da fibra pode influenciar na concentração de químicos em etapas subsequentes como o pré-alveamento.

#### 4.2 PRÉ ALVEJAMENTO

As fibras de Tucum preparadas pelo processo de pré-alveamento apresentaram um nítido branqueamento da fibra, mostrando uma alteração considerável da cor, com uma base limpa e clara (Figura 18), tornando-se adequado para a etapa de tingimento.

Figura 18 - Comparação das amostras (a) Fibras antes do pré-alveamento (b) Fibras após o processo de pré-alveamento.



Fonte: Autora (2024).

Assim é possível afirmar que os produtos auxiliares utilizados no processo de pré-alveamento foram eficientes no auxílio à limpeza e branqueamento do substrato. Os substratos cru e pré-alveado foram avaliados por espectroscopia de reflectância e suas coordenadas colorimétricas podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Coordenadas colorimétricas para a fibra de Tucum cru e pré-alvejada.

Amostra	L*	a*	b*	Cor
Cru	64,27	-6,31	25,08	
Pré-alvejada	85,17	0,37	8,64	

Fonte: Autora (2024).

Analisando os resultados, verifica-se um aumento na coordenada L\* para as fibras submetidas ao pré-alveamento, o que indica uma maior luminosidade da cor. Quanto à coordenada a\*, observa-se seu aumento, o que significa que o substrato adquiriu uma

tonalidade menos esverdeada. Com relação à coordenada  $b^*$ , seu decréscimo indica a redução da cor amarelada da amostra.

Em seguida verificou-se o grau de branco da amostra, após o pré-alveamento, segundo a escala Berger. O resultado é apresentado na Tabela 2. O valor encontrado de 30,98 indica que o branco obtido é amarelado, o que é confirmado na análise visual da Figura 17.

Tabela 2 - Grau de branco.

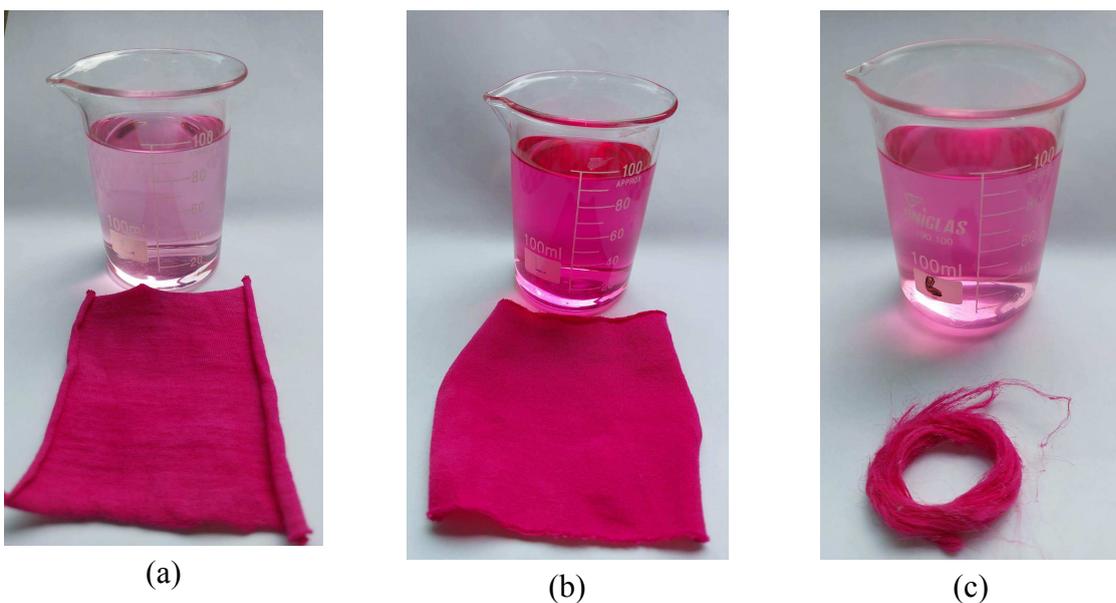
	<b>Grau de branco médio (Escala Berger)</b>
<b>Fibra de Tucum</b>	30,98

Fonte: Autora (2024).

### 4.3 TINGIMENTO

O tingimento foi realizado em amostras de fibras de Tucum e amostras de CO e CV, utilizando corante direto Pink Tricel NG-LRB sob concentrações de 1% s.p.m. As amostras tingidas podem ser visualizadas na Figura 19 e as coordenadas colorimétricas obtidas são apresentadas na Tabela 3.

Figura 19 - Comparação das amostras tintas e banhos residuais de tingimento (a) Algodão (b) Viscose (c) Tucum.



Fonte: Autora (2024).

Tabela 3 - Coordenadas colorimétricas dos diferentes substratos tintos.

<b>Amostra</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>K/S</b>	<b>Cor</b>
Algodão	45,01	53,14	-7,93	128,19	
Viscose	50,37	53,63	-8,93	86,06	
Tucum	43,41	54,43	-2,84	161,16	

Fonte: Autora (2024).

Analisando os dados obtidos, é possível verificar que a amostra de malha de viscose teve uma intensidade menor comparada às amostras de Tucum e CO. Isto pode ser explicado considerando que a amostra não possui composição de 100% CV, sendo constituída também por elastano, o qual não é tingido pelo corante direto. Dessa forma, serão considerados somente os dados das amostras de algodão e Tucum na comparação.

Realizando uma comparação das cores é possível verificar que ambas as amostras obtiveram um aspecto visual similar. Porém, os dados apresentados via espectrofotômetro mostram que a coordenada L\* teve um decréscimo da amostra padrão de CO para o Tucum, o que indica uma menor luminosidade da cor, isto é, o Tucum está mais escuro. Já em relação à coordenada a\*, observa-se seu aumento, o que significa que o substrato adquiriu uma tonalidade mais avermelhada. Quanto à coordenada b\*, seu aumento indica a redução da cor azulada da amostra.

Desta forma, analisando o K/S é possível identificar que a fibra de Tucum possui uma força colorística maior quando comparada a amostra de algodão. Porém, por os substratos estarem em formas diferentes, malha e fibra, os resultados são inconclusivos e seria necessário refazer os testes utilizando o mesmo tipo de substrato.

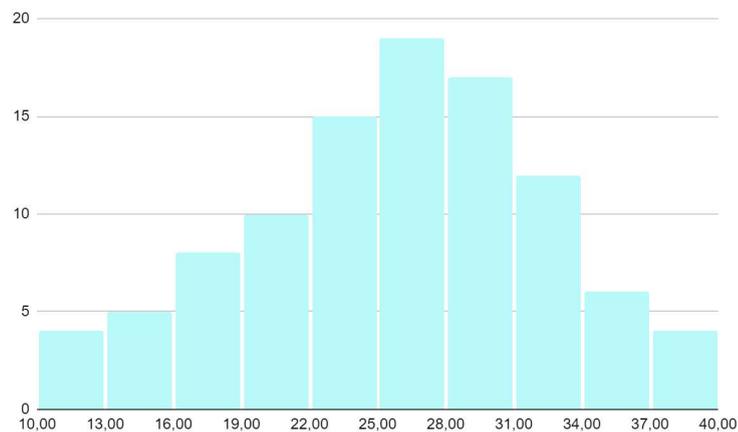
De maneira geral, é possível concluir que a fibra de Tucum, por se tratar de uma fibra de origem celulósica pode ser tingida utilizando corantes diretos, seguindo um mecanismo de tingimento similar ao algodão.

## 4.4 COMPRIMENTO

### 4.4.1 Comprimento das fibras de Tucum por extração manual

Um total de 100 fibras de Tucum, extraídas pelo método manual, foram medidas utilizando régua. Os comprimentos das fibras foram analisados através de histogramas, apresentando uma média de 25,75 cm, conforme Figura 20 e Tabela 4. Os dados completos dos comprimentos estão no Apêndice A, na Tabela 7.

Figura 20 - Histograma obtido através da análise dos comprimentos das fibras extraídas manualmente.



Fonte: Autora (2024).

Tabela 4 - Valores mínimos, máximos, média e desvio padrão calculados a partir dos dados de comprimento das fibras extraídas manualmente.

Mínimo (cm)	10,1
Máximo (cm)	39,1
<b>Média (cm)</b>	<b>25,8</b>
Desvio Padrão	6,5
Coef. variação	25,43%

Fonte: Autora (2024).

Conforme observado, na Figura 20, as fibras possuem uma leve variação nos tamanhos. Isso pode ser explicado por conta da própria folha, que possui variação no comprimento das pinas, conforme exemplificado na Figura 21. De maneira geral, é possível compreender a folha do tucunzeiro como uma elipse, onde as pinas das extremidades são menores que as pinas mais ao centro da folha.

Figura 21 - Formato da folha do tucunzeiro x comprimento das pinas.



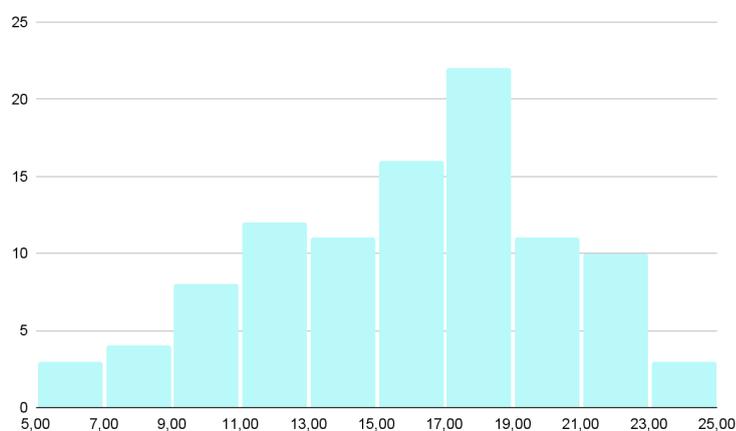
Fonte: Autora (2024).

Comparando com os dados obtidos no estudo de Pennas (2019), as fibras *in natura* obtidas da espécie *Bactris setosa* Mart. são menores do que as obtidas pela espécie *Astrocaryum chambirra* Burret, que possuem uma média de comprimento médio de 89,5 cm. O principal motivo desta diferença está no tamanho da palmeira e folhas e consequentemente das pinas, que na espécie *A. chambirra* Burret são muito superiores.

#### 4.4.2 Comprimento das fibras de Tucum por extração ácida

De maneira similar a realizada com as fibras extraídas pelo método manual, foram realizadas medidas de 100 fibras extraídas pelo método utilizando ácido. Os comprimentos das fibras foram analisados através de histogramas, apresentando uma média de 15,88 cm, conforme Figura 22 e Tabela 5. Os dados completos dos comprimentos estão no Apêndice A, na Tabela 8.

Figura 22 - Histograma obtido através da análise dos comprimentos das fibras extraídas utilizando ácido.



Fonte: Autora (2024).

Tabela 5 - Valores mínimos, máximos, média e desvio padrão calculados a partir dos dados de comprimento das fibras extraídas com ácido.

Mínimo (cm)	6,3
Máximo (cm)	24,7
<b>Média (cm)</b>	<b>15,9</b>
Desvio Padrão	4,3
Coef. variação	27,14%

Fonte: Autora (2024).

Conforme citado na metodologia, para a extração das fibras utilizando ácido, cortou-se as extremidades da fibra, o que resultou na perda de tamanho da pina, conforme observado na Figura 23. Dessa forma, não é possível concluir se as causas de um menor comprimento têm

relação direta com o método de extração utilizando ácido, ou seja provenientes somente dessa preparação.

Figura 23 - Diferença observada nas pinas utilizadas (a) Pina utilizada na extração por via ácida (b) Pina utilizada na extração manual da fibra *in natura*.



Fonte: Autora (2024).

#### 4.5 REGAIN

Para a determinação do Regain, foram analisadas 5 amostras de fibras de Tucum. Os valores medidos para cada fibra estão disponíveis no Apêndice B. Na Tabela 6 estão apresentados o valor médio, desvio padrão e o coeficiente de variação.

Tabela 6 - Valor médio do Regain, desvio padrão e coeficiente de variação.

	<b>Massa inicial (g)</b>	<b>Massa seca (g)</b>	<b>Regain</b>
Média	0,46142	0,42148	9,45%
Desvio padrão	0,05679742072	0,05095769814	0,67%
Coef. de variação	12,31%	12,09%	7,13%

Fonte: Autora (2024).

O regain obtido é compatível ao regain obtido no estudo de Pennas (2019) sobre a fibra de Tucum extraída da espécie de *Astrocaryum chambira* Burret, a qual encontrou o teor de regain de 10,0%. Da mesma forma, o teor de regain encontrado é similar ao regain comercial de demais fibras celulósicas, conforme Quadro 5.

Quadro 5 - Regain comercial de fibras celulósicas.

Algodão não mercerizado	8,5%
Algodão mercerizado	10,5%
Linho	12,0%
Juta	13,8%
Cânhamo	12,0%
Rami	12,0%
Sisal	10 - 12,0%

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 12331 (1991); Immich *et al.* (2022).

Conforme estudos realizados por Fonseca e Santana (2003) “Uma peça de vestuário feita de uma fibra pouco higroscópica não absorve a transpiração, tem pouco isolamento e acumula eletricidade estática, gerada durante o uso, tornando-se incômoda de se vestir”. Dessa forma, o valor de regain obtido mostra que as fibras de Tucum possuem afinidade com a água, sendo hidrofílicas, e conseqüentemente higroscópica, o que significa que tem uma boa capacidade de absorver umidade do ar, mas não em níveis excessivos. Esse equilíbrio pode ser vantajoso em aplicações têxteis, pois fibras com essa característica tendem a proporcionar um conforto adequado, absorvendo o suor e mantendo uma sensação de frescor para o usuário. Além de indicar uma provável afinidade tintorial e para acabamentos (Guimarães, 2014).

Observando a Tabela 9, presente no apêndice B, é possível verificar que a fibra *in natura* obteve um teor de regain superior as fibras que passaram por algum tratamento. Isso se dá devido a presença de substâncias não celulósicas como hemiceluloses e ligninas, conforme confirmado no estudo de FTIR das fibras *in natura*, as quais são hidrofílicas (Reedy; Yang, 2005).

#### 4.6 MEV

As análises de MEV das fibras de Tucum apresentam detalhes da morfologia da fibra, como pode ser observado nas Figuras 24 e 25. A Figura 24a mostra que as fibras apresentam um formato delgado, e apesar de mostrarem uma aparência lisa a olho nu, as micrografias revelam que a superfície é bastante rugosa, com ranhuras bem marcantes. Além disso, na superfície das fibras é possível observar muitos pontos claros ao longo de todo o seu

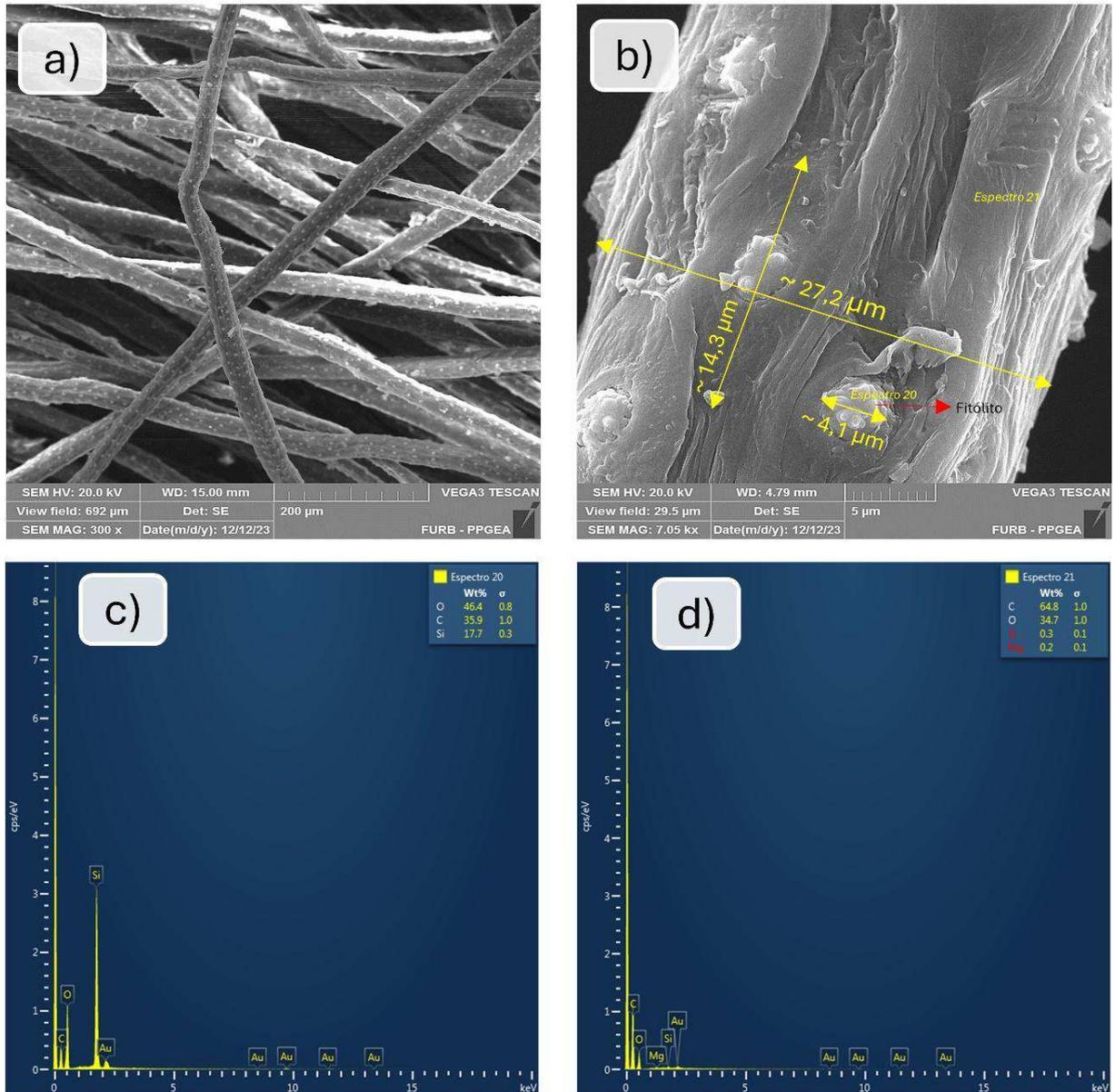
comprimento. Esses pontos também foram observados nas análises de outros pesquisadores que estudaram fibras de Tucum de outras espécies, como Pennas (2019). Os pontos observados são fitólitos, que são corpúsculos microscópicos de sílica (dióxido de silício) que se formam nas células das plantas (Calegari, *et al.* 2022).

Os fitólitos aumentam a dureza e a resistência das fibras vegetais, tornando-as menos palatáveis e mais difíceis de serem roídas por pragas, atuam como defesa reduzindo a predação sobre a planta. Também conferem rigidez e força, isso é particularmente importante em plantas que precisam manter-se eretas e resistir a ventos fortes ou outras forças físicas. Os fitólitos também atuam na integridade da fibra evitando que se rompam ou colapsem sob pressão ou condições externas muito agressivas, além disso promovem a regulação hídrica, ajudando na retenção de água nas células vegetais, no transporte de água através das fibras, ajudando a planta a distribuir água de maneira eficiente. Durante a vida das plantas também protege contra patógenos, pois formam uma barreira física que dificulta a penetração e entrada de fungos, bactérias e outros agentes infecciosos, aumentando a durabilidade e longevidade das fibras (Strömberg; Stilo; Song, 2016; Calegari, *et al.* 2022; Parolin, *et al.* 2023).

As análises de EDS mostradas na Figura 24c e 24d provenientes dos pontos de análise da Figura 24b, confirmam a elevada concentração de Silício nos pontos claros e sua ausência nas demais regiões, nas quais há presença apenas de carbono e oxigênio. Os picos de ouro presentes no espectro devem-se ao revestimento de ouro realizado na fibra, necessário para viabilizar o ensaio.

A Figura 24b mostra as medidas obtidas pelo software Image-J de uso livre. Analisando diversas micrografias e pontos de medição, foi determinado que o diâmetro médio das fibras de Tucum é de 28,3  $\mu\text{m}$ . Além disso, o comprimento médio das células vegetais em torno dos fitólitos foi de 15,1  $\mu\text{m}$ , enquanto o diâmetro médio dos fitólitos foi de 3,9  $\mu\text{m}$ . Segundo Pozebon, Dressler e Curtius (1999) um fio de cabelo humano varia em média de 10  $\mu\text{m}$  a 120  $\mu\text{m}$ . As fibras de Tucum têm um diâmetro similar a um fio de cabelo, podendo ser até 1/4 desse diâmetro. A finura da fibra é com certeza uma grande vantagem em termos de processabilidade têxtil do material, sua aplicação final e qualidade do produto. A finura da fibra também pode ser bastante interessante para outras aplicações na área de engenharia de materiais, como na produção de compósitos.

Figura 24 - Análise de MEV das fibras de Tucum *in natura*. (a) Vista panorâmica longitudinal das fibras de Tucum, aumento de 300x e escala de 200  $\mu\text{m}$ ; (b) Vista longitudinal das fibras de Tucum, aumento de 7000x e escala de 5  $\mu\text{m}$ . (c) Análise de EDS da fibra de Tucum na região do espectro 20 da figura “b”. (d) Análise de EDS da fibra de Tucum na região do espectro 21 da figura “b”.

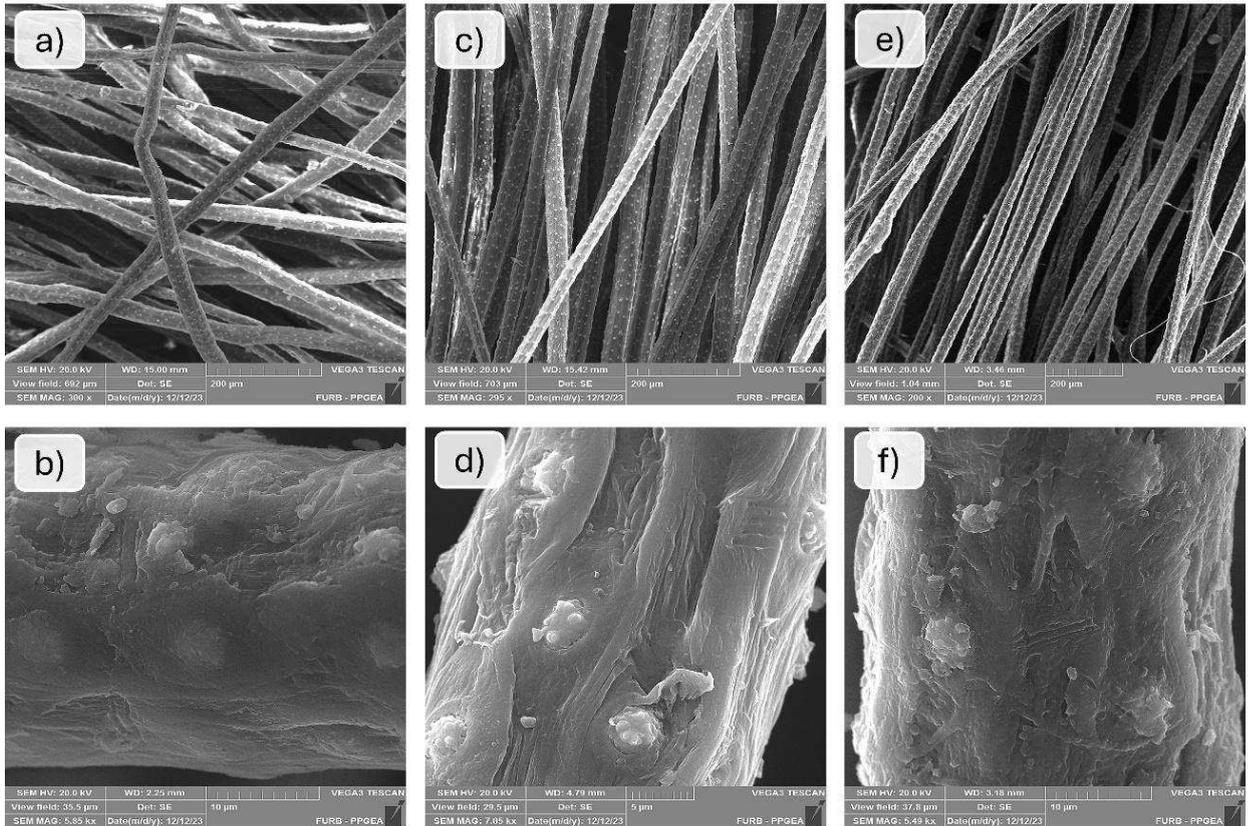


Fonte: Autora (2024).

A Figura 25 apresenta uma comparação entre as fibras de Tucum *in natura* extraídas manualmente (Figura 25a e 25b); fibras de Tucum pré-alvejadas com  $\text{H}_2\text{O}_2$  (Figura 25c e 25d), e fibras de Tucum extraídas por via ácida com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Figura 25e e 25f). As imagens

não revelam grandes alterações na fibra entre as diferentes condições, isso mostra que não houve piora ou melhora do aspecto do material causado pelas diferentes condições de obtenção. É importante notar que as regiões dos fitólitos variam ligeiramente em cada condição. Na Figura 25b, os fitólitos não parecem completamente superficiais como nas outras imagens; eles dão a impressão de estarem envolvidos por camadas de material lignocelulósico que os cobrem parcialmente. Isso é coerente se for considerado que as demais condições em que a fibra foi tratada com  $H_2O_2$  e com  $H_2SO_4$ , foi realizado um tratamento oxidante, seja para branqueamento ou extração, e que a ação oxidante do peróxido e do ácido pode ter removido as camadas mais externas de deposição de lignoceluloses que recobrem os fitólitos, deixando-os bem aparentes.

Figura 25 - Análise de MEV das fibras de Tucum extraídas por diferentes métodos e fibra pré-alvejada. (a) e (b) Vista longitudinal da fibra *in natura* extraída manualmente, com aumentos de 300x e 5800x, respectivamente. (c) e (d) Vista longitudinal da fibra extraída manualmente e pré-alvejada com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, com aumentos de 295x e 7000x, respectivamente. (e) e (f) Vista longitudinal das fibras extraídas por via ácida, com aumentos de 200x e 5500x, respectivamente.



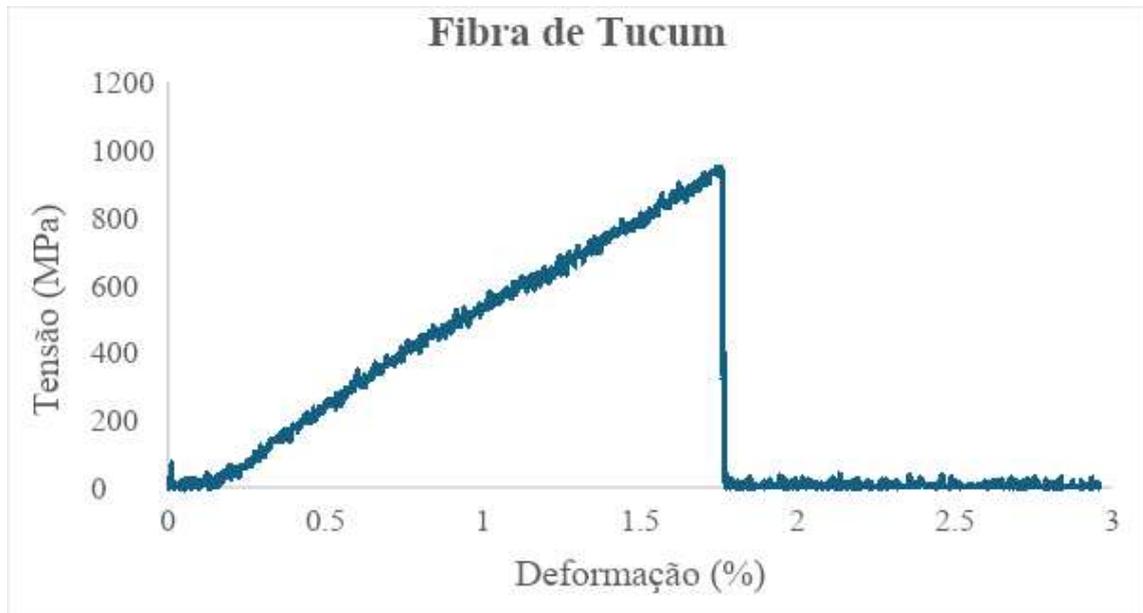
Fonte: Autora (2024).

## 4.7 TRAÇÃO

O gráfico da Figura 26 ilustra o comportamento de tensão *versus* deformação de uma fibra vegetal de Tucum sob teste de resistência mecânica. Este gráfico é essencial para compreender as propriedades mecânicas da fibra, que são fundamentais para aplicações em materiais compostos e outras utilizações industriais. O eixo da deformação representa a deformação relativa da fibra, medida em porcentagem. Já o eixo da tensão, inicialmente em kgf/mm<sup>2</sup> foi convertida para MPa e representa a tensão aplicada na fibra.

A análise da curva de tensão-deformação entre 0% e 2% de deformação mostra que a tensão aumenta quase linearmente com a deformação, indicando comportamento elástico inicial. Isso sugere que a fibra de Tucum se deforma elasticamente sob pequenas tensões, retornando à forma original quando a tensão é removida. Considerando toda a faixa linear até a ruptura, a linha de tendências traçada a partir dos dados da análise mostraram que o  $R^2$  é de aproximadamente 0,996, isto é, toda essa faixa é bem representada por uma função linear. Isso significa que o comportamento mecânico da fibra atende exclusivamente à lei de Hooke, ou seja, ela não possui plasticidade, possui apenas um comportamento elástico, e havendo alcançado o limite de sua elasticidade, a fibra rompe, e não continua deformando, como por exemplo as fibras sintéticas que são altamente dúcteis. O módulo de elasticidade foi calculado a partir da inclinação da reta, tendo sido encontrado o valor de 0,56 GPa.

Na região próxima de 1,75% de deformação a tensão atinge um pico de aproximadamente 949 MPa. Este ponto representa a máxima resistência da fibra antes do início da falha. A capacidade de suportar tal nível de tensão indica que a fibra de Tucum possui uma alta resistência à tração, superando fibras como o algodão (~ 400 MPa) (Sathishkumar, *et al.* 2013), o sisal (~ 650 MPa) (Raftoyiannis, 2012) e a seda (~ 750 MPa) (Shubhra, *et al.* 2010), atingindo valores de resistência próximos ao do linho (~ 1200 MPa) (Bos; Van Den Oever; Peters, 2002), porém sendo muito mais fina e delicada. Na região de 1,75% de deformação há uma queda abrupta, indicando a falha súbita da fibra. Este comportamento sugere uma falha frágil, onde a fibra se rompe quase instantaneamente após alcançar a sua resistência máxima. Após a falha, a tensão se estabiliza em valores baixos, próximos de zero. Isso indica que a fibra não suporta mais cargas significativas após a ruptura inicial.

Figura 26 - Gráfico de Tensão-Deformação da fibra de Tucum *in natura*.

Fonte: Autora (2024)

Em suma, a fibra de Tucum demonstra uma alta resistência à tração, este valor é comparável a algumas fibras sintéticas e naturais de alta performance, tornando-a uma candidata potencial para aplicações que requerem materiais resistentes. A queda abrupta na tensão logo após o pico indica um comportamento frágil. Este tipo de falha é característico de materiais que não exibem deformação plástica significativa antes da ruptura. A região linear inicial do gráfico sugere boas propriedades elásticas dentro de uma faixa limitada de deformação. Este comportamento é desejável em aplicações que requerem materiais que possam retornar à sua forma original após a remoção da carga. Devido à alta resistência e comportamento elástico, a fibra de Tucum pode ser utilizada em compósitos, reforços estruturais e outros materiais que exigem alta resistência mecânica. No entanto, a natureza frágil da falha deve ser considerada no design de aplicações, potencialmente combinando esta fibra com outros materiais que possam fornecer maior tenacidade.

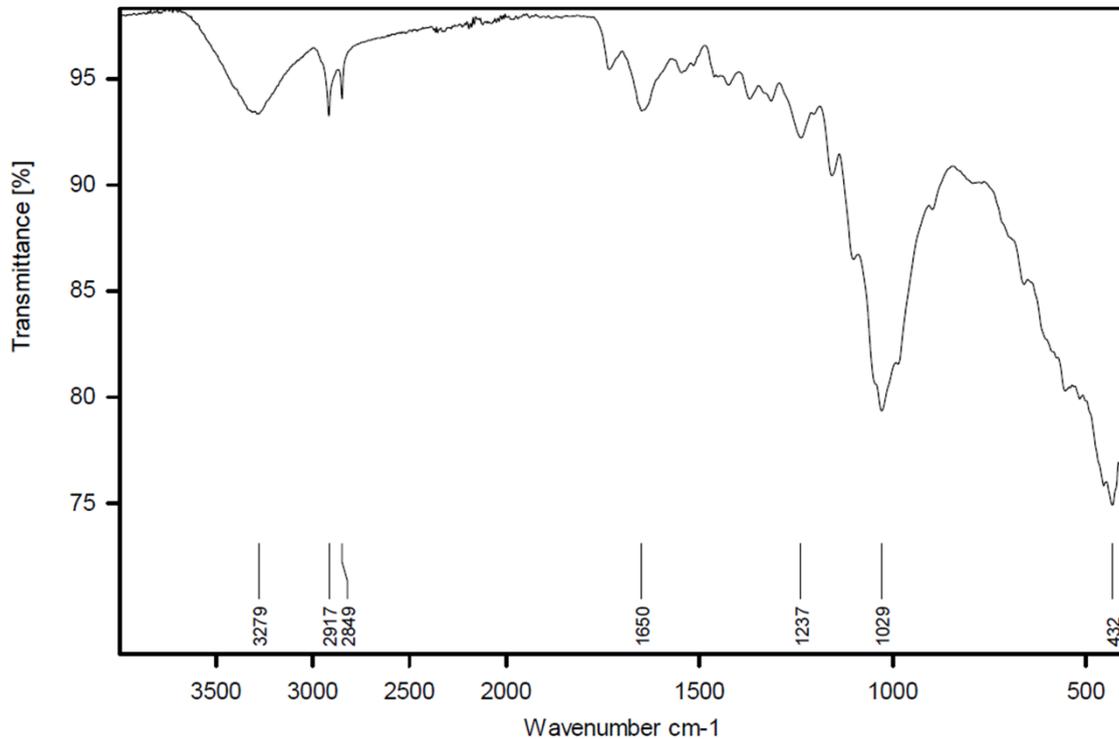
## 4.8 FTIR

### 4.8.1 Análise de FTIR da fibra extraída manualmente

O espectro apresentado na Figura 27 apresenta características típicas de matérias vegetais, tais como celulose, hemiceluloses e lignina. Portanto, as principais bandas observadas confirmam a análise da fibra de Tucum. Os picos observados entre  $3600\text{ cm}^{-1}$  e  $3200\text{ cm}^{-1}$  podem ser atribuídos às vibrações de estiramento das ligações hidroxila (O-H). Isso é comum em compostos que contêm água ou grupos hidroxila, como a celulose, hemicelulose e lignina presentes nas fibras vegetais.

A presença dessas bandas confirma a natureza hidrofílica das fibras vegetais. Os picos mais proeminentes na região entre  $3000\text{ cm}^{-1}$  e  $2800\text{ cm}^{-1}$  correspondem às vibrações de estiramento de ligações C-H, indicando a presença de cadeias carbônicas formadas por ligações de carbono e hidrogênio, comuns em carboidratos como celulose e hemicelulose (Vârban, *et al.* 2021; Oliveira, 2015; Oliveira, *et al.* 2021a). A região entre  $1750\text{ cm}^{-1}$  e  $1500\text{ cm}^{-1}$  mostrou bandas que podem estar associadas ao estiramento das ligações carbonila (C=O), que podem estar presentes em grupos acetil de hemicelulose ou em ésteres. Também podem indicar grupos aromáticos como os encontrados nas ligninas, caracterizados por vibrações de estiramento de C=C. A região entre  $1500\text{ cm}^{-1}$  a  $1200\text{ cm}^{-1}$  também apresenta bandas de vibrações de flexão de ligações C-H e estiramento de C-O, comuns em éteres e álcoois, característicos de estruturas de celulose e hemicelulose. As bandas observadas entre  $1200\text{ cm}^{-1}$  e  $900\text{ cm}^{-1}$  de materiais vegetais são muitas vezes atribuídas as várias vibrações de estiramento e flexão de ligações encontradas em polissacarídeos como a celulose, amidos e açúcares, indicando a presença de ligações glicosídicas  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4) (Vârban, *et al.* 2021).

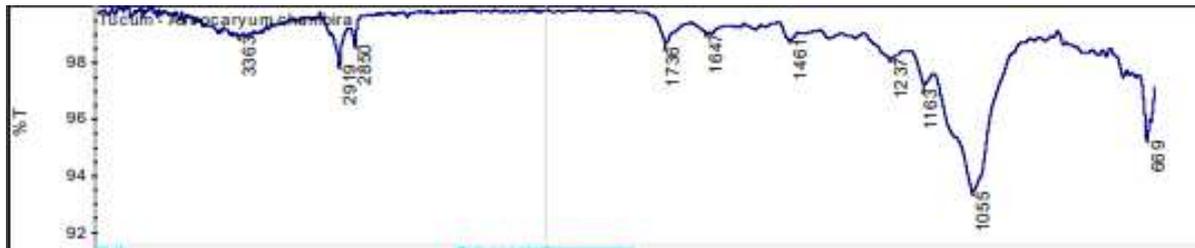
Figura 27 - Espectro de FTIR das fibras extraídas manualmente.



Fonte: Autora (2024).

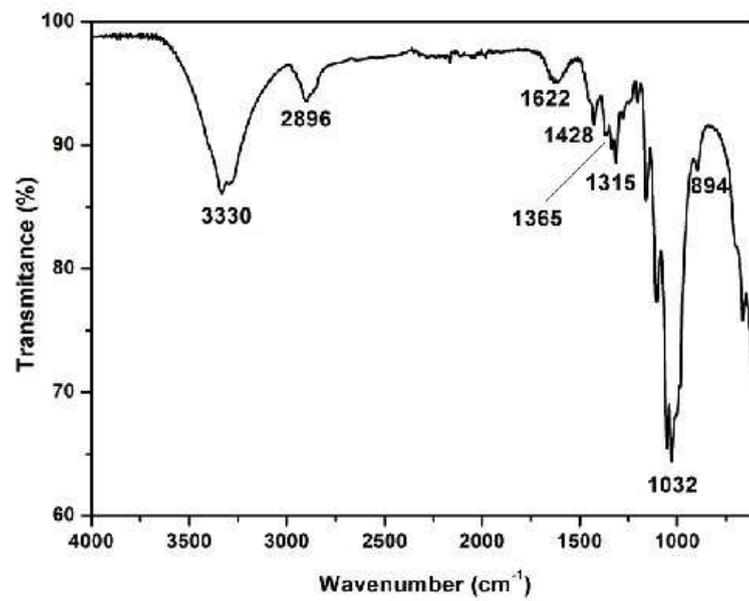
Analisando os resultados e com base em demais estudos realizados de fibras celulósicas, como os apresentados nas Figuras 28, 29 e 30, das fibras de tucum da espécie *Astrocaryum chambirra* Burret, algodão e sisal, respectivamente, é possível compreender a semelhança entre os espectros e bandas de absorção características de materiais de origem vegetal. As bandas em torno de 3000 cm<sup>-1</sup> e 3500 cm<sup>-1</sup> indicam a presença de grupos funcionais CH e OH, respectivamente (Pennas, 2019; Guimarães, 2014). A região em torno de 1000 cm<sup>-1</sup>, conhecida como "impressão digital" do espectro FTIR, também apresenta similaridades com os espectros de materiais vegetais. Com isso confirmar a presença de celulose e lignina.

Figura 28 - Espectro FTIR das fibras de tucum da espécie *Astrocaryum chambirra* Burret.



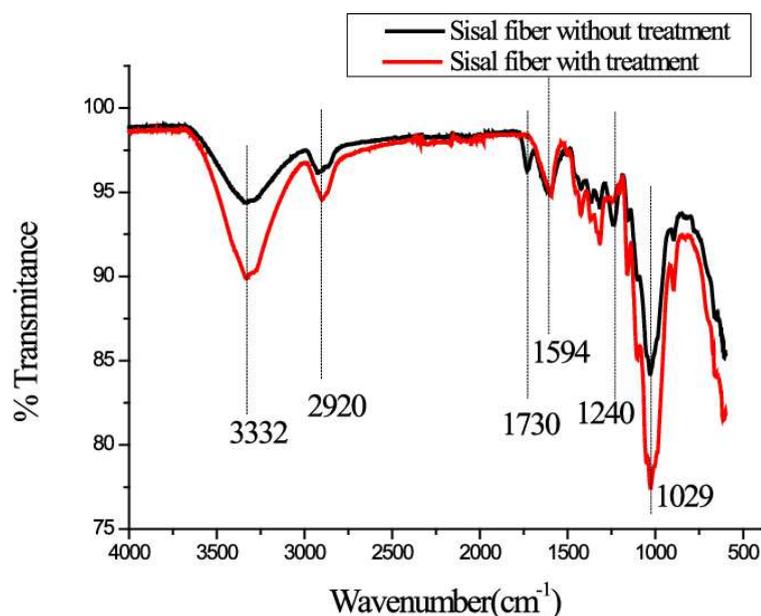
Fonte: Pennas (2019).

Figura 29 - Espectro FTIR da fibra de algodão.



Fonte: Portella *et al.* (2016).

Figura 30 - Espectro FTIR da fibra de sisal.



Fonte: Freitas *et al.* (2020).

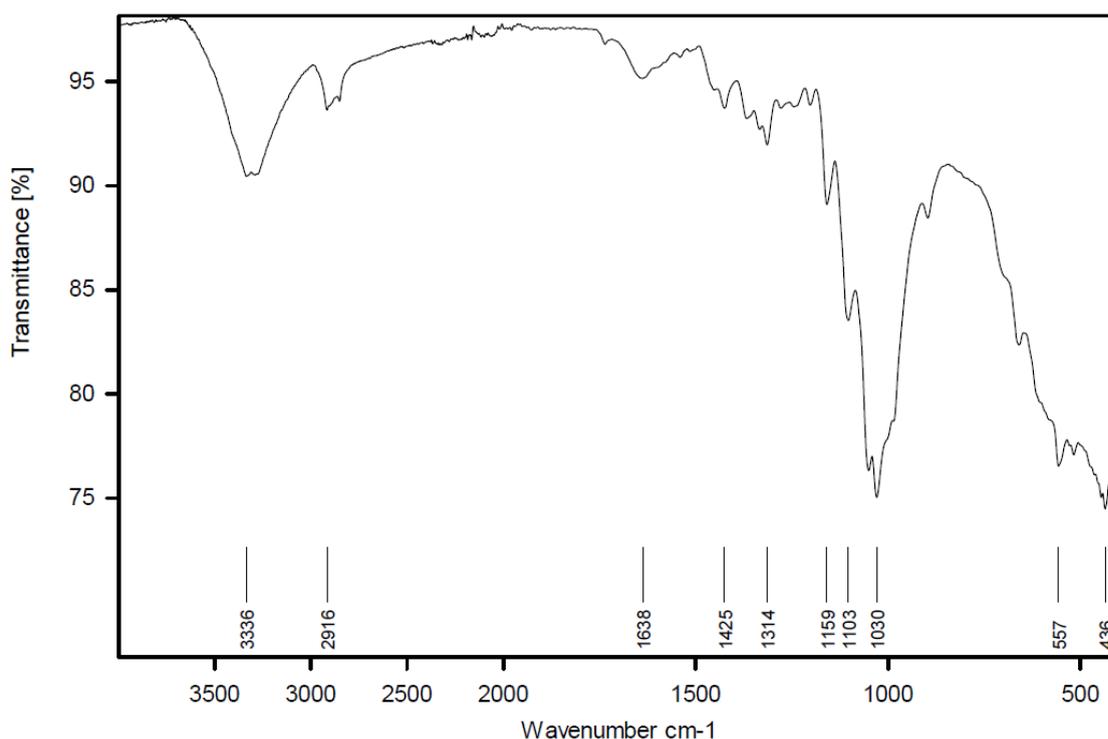
#### 4.8.2 Análise de FTIR da fibra pré-alvejada

Os espectros FTIR da fibra extraída manualmente e da fibra após seu pré-alvejamento foram comparados. No espectro da fibra antes do pré-alvejamento foi observado picos na região de  $2900\text{ cm}^{-1}$  (estiramento C-H),  $1735\text{ cm}^{-1}$  (estiramento C=O de grupos acetil ou éster), e  $1050\text{ cm}^{-1}$  (estiramento C-O-C). Na fibra pré-alvejada pode-se observar mudanças nessas regiões (Figura 31).

A intensidade do pico em  $1735\text{ cm}^{-1}$  diminuiu drasticamente devido à remoção de grupos acetil de hemiceluloses durante o alvejamento. A lignina, outra componente das fibras vegetais, tem picos característicos em torno de  $1510\text{ cm}^{-1}$  (estiramento aromático C=C) e  $1260\text{ cm}^{-1}$  (estiramento C-O), observados na fibra não tratada. Após o tratamento com peróxido de hidrogênio, a intensidade desses picos diminuiu, indicando uma remoção parcial da lignina. Os grupos hidroxila (O-H) presentes na celulose e hemicelulose aparecem na região de  $3400\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$ . As fibras não tratadas apresentam uma banda ampla e intensa nessa região devido à alta concentração de grupos hidroxila. Após o pré-alvejamento, a forma do pico e sua intensidade são mais pronunciados, refletindo mudanças na estrutura da celulose, a remoção de impurezas ou componentes não-celulósicos e consequentemente maior hidrofiliabilidade e grupos OH disponíveis.

O peróxido de hidrogênio pode oxidar grupos funcionais, transformando grupos hidroxila em grupos carbonila. Mudanças na região de 3400-3200  $\text{cm}^{-1}$  e a possível emergência de novos picos em torno de 1720  $\text{cm}^{-1}$  (grupos carbonila) no espectro das fibras pré-alvejadas indicam essa oxidação. Conclui-se que o pré-alvejamento com peróxido de hidrogênio alterou significativamente a composição química da fibra vegetal, removendo componentes não-celulósicos como lignina e grupos acetilados, e oxidando grupos hidroxila. Essas alterações são refletidas nos espectros FTIR pelas mudanças na intensidade e posição dos picos característicos de lignina, grupos acetil, e hidroxila (Várban, *et al.* 2021; Zeronian; Inglesby, 1995; Ho; Ong, Wu, 2019; Hao, *et al.* 2014).

Figura 31 - Espectro de FTIR das fibras extraídas manualmente e pré-alvejadas com  $\text{H}_2\text{O}_2$ .



Fonte: Autora (2024).

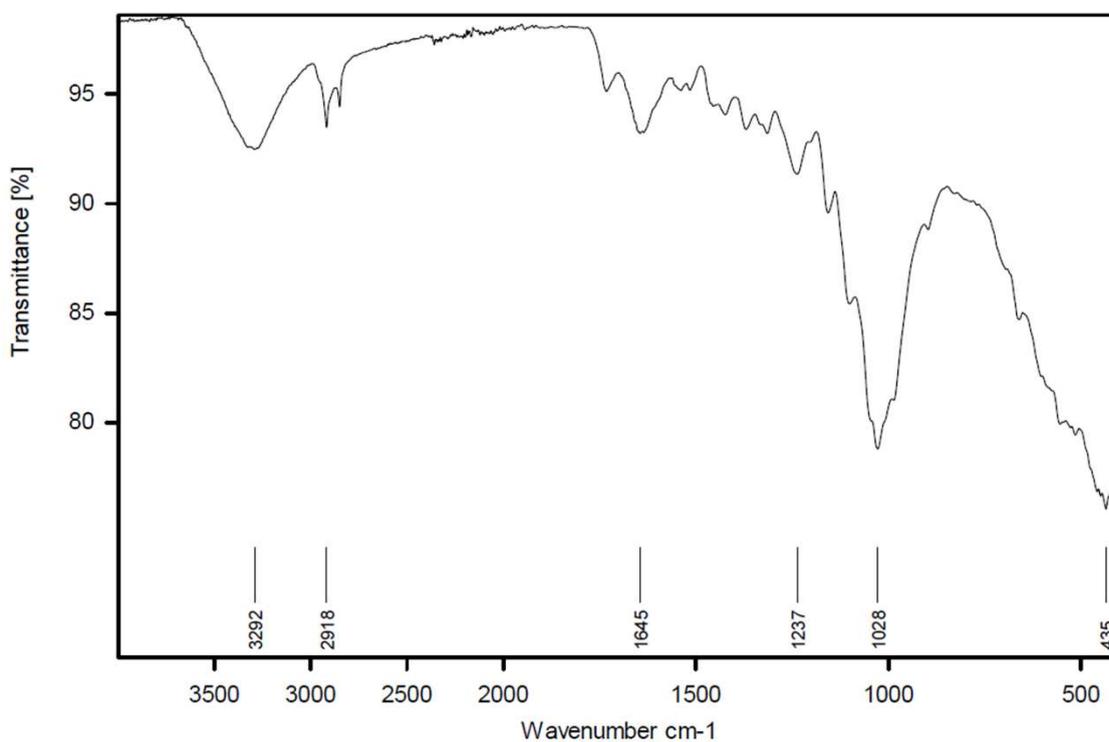
#### 4.8.3 Análise de FTIR da fibra extraída com ácido

Os espectros FTIR da fibra extraída manualmente e da fibra extraída com ácido foram comparados visualmente e numericamente. Os espectros apresentam várias bandas

características comuns, por se tratar do mesmo material, porém, algumas diferenças nas intensidades e nas formas das bandas foram observadas. As fibras extraídas com ácido apresentaram bandas mais intensas (Figura 32) e algumas mudanças sutis na região de  $1000\text{ cm}^{-1}$  e  $1100\text{ cm}^{-1}$ , devido à remoção de componentes amorfos como a hemicelulose e a lignina. A intensificação dessas bandas pode indicar uma maior cristalinidade da celulose remanescente. A presença de lignina pode ser detectada por bandas em torno de  $1500\text{ cm}^{-1}$  e  $1600\text{ cm}^{-1}$ .

O tratamento ácido pode alterar a intensidade dessas bandas, indicando a remoção parcial ou total da lignina. O tratamento ácido pode introduzir novos grupos funcionais ou modificar os existentes, o que pode ser refletido em novas bandas ou mudanças nas intensidades das bandas existentes. No entanto, apesar da extração ser ácida, devido às condições brandas de extração não foi observada a formação de novos grupos funcionais (Vârban, *et al.* 2021; Wu, *et al.* 2023; Kim, *et al.* 2001).

Figura 32 - Espectro de FTIR das fibras extraídas por via ácida.



Fonte: Autora (2024).

## 4.9 TGA

### 4.9.1 Análise de TGA-DTG da fibra extraída manualmente

Com base nos resultados obtidos foi possível identificar várias etapas de degradação térmica. A primeira etapa de perda de massa ocorre aproximadamente entre 30 °C e 150 °C. Na literatura, essa fase é frequentemente observada em materiais lignocelulósicos. Esta etapa é geralmente atribuída à perda de compostos orgânicos voláteis leves e principalmente à desidratação da fibra (Oliveira, *et al.* 2021b). Nessa fase foi observado uma perda aproximada de 5,4% de massa. A principal razão da diminuição de massa pode ser atribuída em grande parte à perda de umidade da fibra, isto é, à água livre adsorvida na superfície da fibra e sua água estrutural.

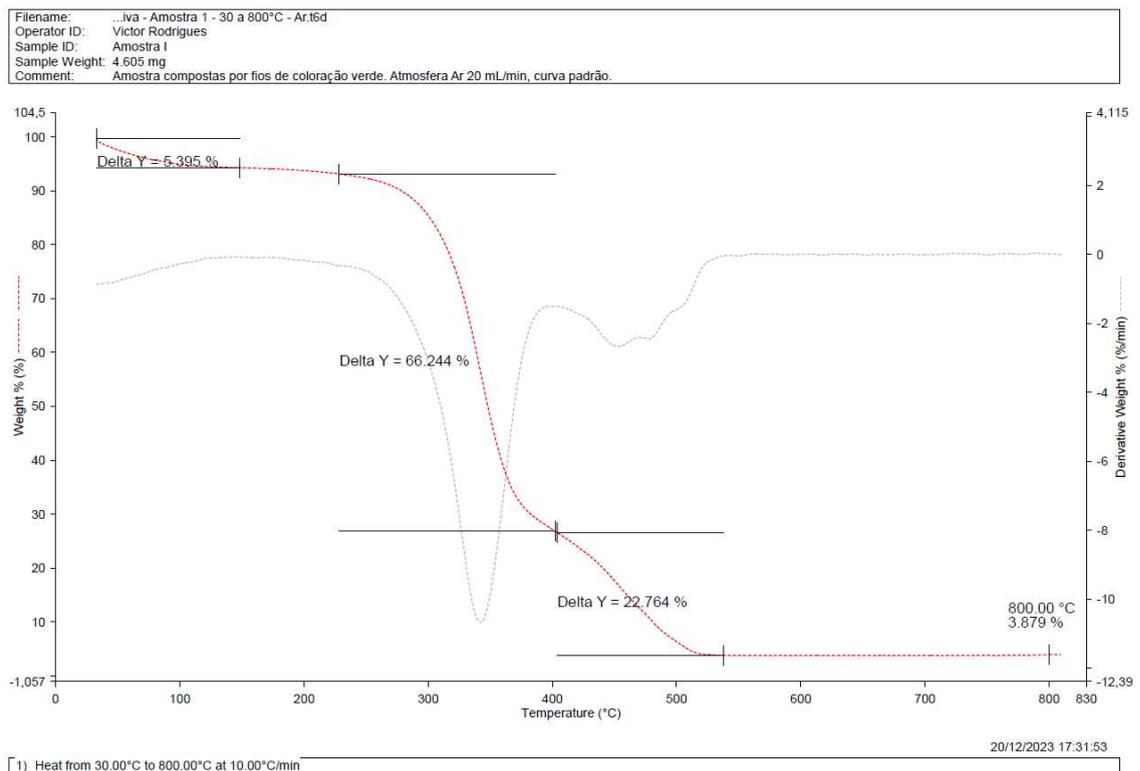
A segunda etapa de degradação ocorreu entre 150 °C e 400 °C. Nessa fase foi observada uma perda significativa de massa, cerca de 66,2%, essa perda é atribuída a degradação de hemiceluloses e da celulose propriamente dita. A hemicelulose degrada-se entre 200 °C e 300 °C, enquanto a celulose degrada-se entre 300 °C e 400 °C. A hemicelulose, por ter uma estrutura amorfa e ser menos termicamente estável, degrada-se primeiro. O pico máximo de degradação térmica para as fibras *in natura* foi de 347 °C. Vários estudos que investigaram a degradação térmica de fibras vegetais nessa faixa de temperatura associaram a perda de massa à quebra das ligações glicosídicas e à despolimerização térmica da celulose. Nesta etapa são produzidos a maior parte dos produtos da pirólise, como 1-glicose, alcatrão, cetonas, álcoois, ésteres, aldeídos e CO (Oliveira, *et al.* 2021a; Moltó, *et al.* 2005; Oliveira, *et al.* 2021b).

A terceira fase de degradação foi observada entre 400 °C - 800 °C, condizente com a degradação da lignina e à formação de resíduos carbonáceos termicamente mais estáveis. A perda de massa nessa fase foi de cerca de 22,7%. A lignina tem uma estrutura complexa e é mais resistente ao calor do que a celulose, degradando-se em uma faixa de temperatura mais ampla (250 °C - 800 °C). A literatura aponta que essa fase resulta na formação de compostos aromáticos e carvão, que são mais resistentes à degradação térmica.

Ao final do processo foi observado em 800 °C uma massa residual de degradação de aproximadamente 3,9%. Estudos de TGA em fibras vegetais, como fibra de coco, bambu, linho e outras fibras lignocelulósicas, apresentam perfis de degradação térmica semelhantes

(Abidi; Cabrales; Hequet, 2010). Estes estudos mostram uma correlação direta entre a estrutura química da fibra vegetal e os picos de degradação observados no TGA. Fibras com maior conteúdo de lignina mostram maior estabilidade térmica, com resíduos carbonáceos mais elevados após 800 °C. A Figura 33 mostra as etapas de degradação e suas perdas respectivas.

Figura 33 - Análise da curva TGA e sua derivada DTG das fibras extraídas manualmente.



Fonte: Autora (2024).

#### 4.9.2 Análise de TGA-DTG da fibra pré-alvejada

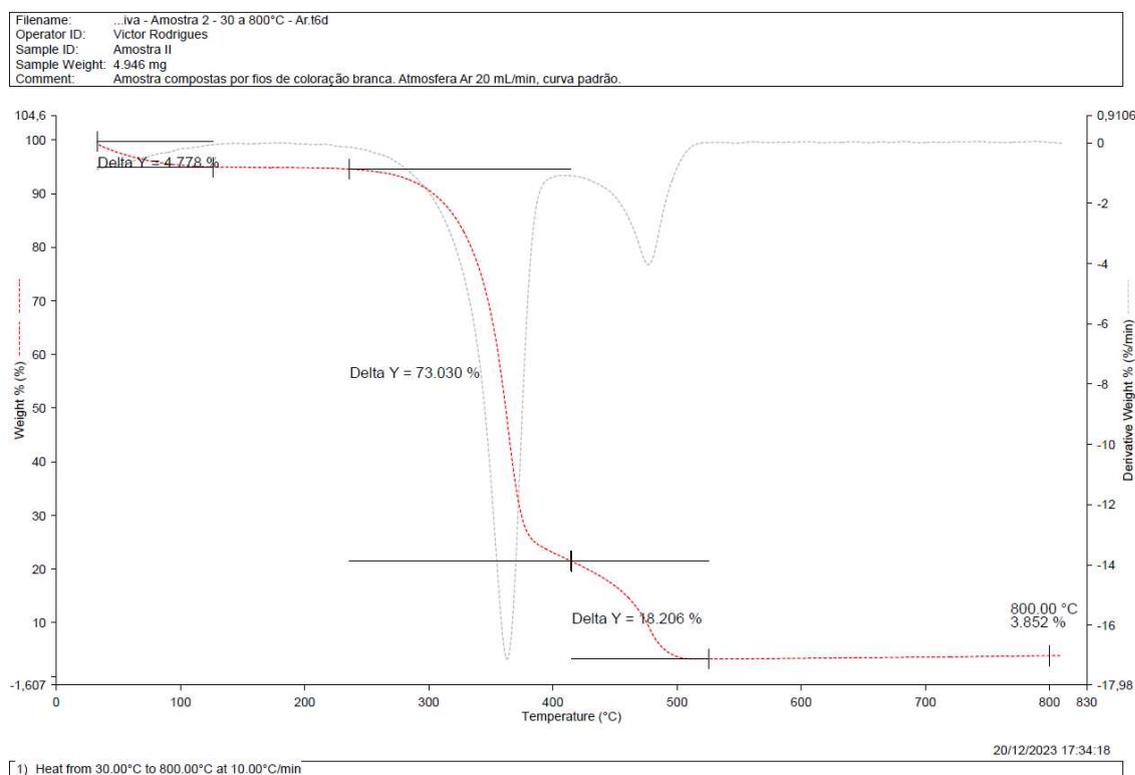
A amostra analisada foi submetida a um pré-alvejamento com  $H_2O_2$ , e a análise TGA foi realizada sob as mesmas condições da fibra *in natura*. A análise explorou as etapas de degradação térmica e identificou alterações no comportamento de degradação da fibra devido ao branqueamento, principalmente devido à remoção de impurezas e modificação das estruturas de hemicelulose, celulose e lignina.

A fibra pré-alvejada apresenta uma perda de massa inicial um pouco diferente e pequenas mudanças nas temperaturas de degradação, confirmando que o branqueamento impacta a estabilidade térmica da fibra. A primeira etapa de degradação também foi observada entre 30 °C e 150 °C, como esperado. Nessa fase foi observado uma perda de 4,8% aproximadamente. O menor conteúdo de umidade da fibra alvejada pode ser devido aos efeitos do pré-alvejamento, que removeu compostos orgânicos e impurezas solúveis altamente hidrofílicos e higroscópicos, naturais da fibra, e que ajudam a reter mais água na fibra *in natura*.

A segunda etapa de degradação ocorreu entre 150 °C e 400 °C, com um pico máximo de perda de massa mostrado pela DTG de cerca de 365 °C, acima, porém próximo ao da fibra *in natura*. Nessa fase, a degradação da hemicelulose e da celulose geram gases como CO, CO<sub>2</sub>, ácidos acéticos, aldeídos, cetonas, levoglucosano, e hidrocarbonetos leves. O percentual de perda mássica foi cerca de 10,3% maior em relação à fibra *in natura* nessa fase, chegando a uma perda de 73% da massa original. Esse aumento se deve à maior concentração de celulose na massa fibrosa devido a remoção de hemiceluloses, impurezas solúveis, e parte da lignina durante o tratamento oxidante de pré-alvejamento com peróxido.

A terceira etapa de perda de massa ocorre entre 400 °C e 800 °C, semelhante à fibra *in natura*, correlacionada a degradação da lignina e da formação de resíduos carbonáceos. Nessa fase, são gerados compostos como fenois, álcoois, hidrocarbonetos aromáticos, metano e outros gases. O pré-alvejamento pode ter removido algumas frações da lignina ou modificado sua estrutura, resultando em uma leve alteração no comportamento de degradação térmica. O percentual de perda mássica nessa fase foi de 18,2%, tendo sido observado à 800 °C um residual de degradação de 3,9%, similar ao valor mostrado pelo termograma da fibra *in natura*. Isso significa que o pré-alvejamento apesar de alterar o comportamento de degradação térmica da fibra ele não promove piora ou melhora da resistência térmica do material. A Figura 34 mostra as etapas de degradação e suas perdas respectivas.

Figura 34 - Análise de TGA-DTG das fibras extraídas manualmente e pré-alvejadas com  $H_2O_2$ .



Fonte: Autora (2024).

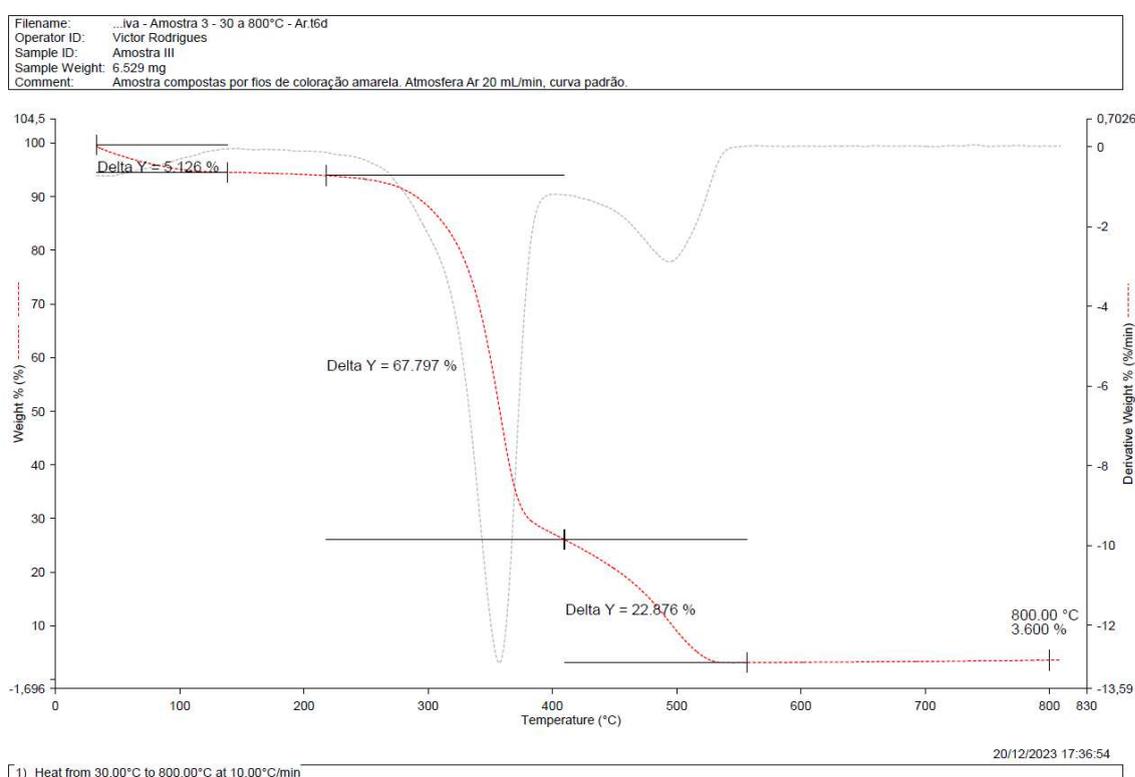
#### 4.9.3 Análise de TGA-DTG da fibra extraída com ácido

O processo de extração ácida com  $H_2SO_4$  altera ligeiramente o comportamento de degradação térmica da fibra vegetal, assim como foi observado pelo pré-alvejamento. No entanto, apesar do perfil da curva DTG e das temperaturas de pico de degradação serem similares à amostra pré-alvejadas, o percentual de perda mássica para cada uma das etapas de degradação são mais parecidas aos resultados da fibra *in natura*. Com isso, é possível inferir que apesar da extração ácida alterar o comportamento de degradação térmica das fibras, ela não melhora ou piora a resistência da fibra à degradação térmica, apresentando inclusive um residual de degradação à 800 °C de 3,6%, valor muito similar às demais análises.

As principais alterações observadas são na perda de massa inicial e nas temperaturas de degradação da hemicelulose, celulose e lignina. A fibra extraída com ácido apresenta uma perda de massa inicial um pouco diferente e pequenas mudanças nas temperaturas de

degradação, indicando que o processo de extração afeta ligeiramente a estabilidade térmica da fibra. Todas as etapas de degradação foram observadas, e é interessante destacar que apesar da extração ácida fornecer fibras mais claras, com cores mais próximas às fibras pré-alvejadas, ela não altera tão profundamente a composição da fibra como ocorre com a ação do peróxido, o que é uma vantagem. A Figura 35 mostra as etapas de degradação e suas perdas respectivas.

Figura 35 - Análise de TGA-DTG das fibras extraídas por via ácida.



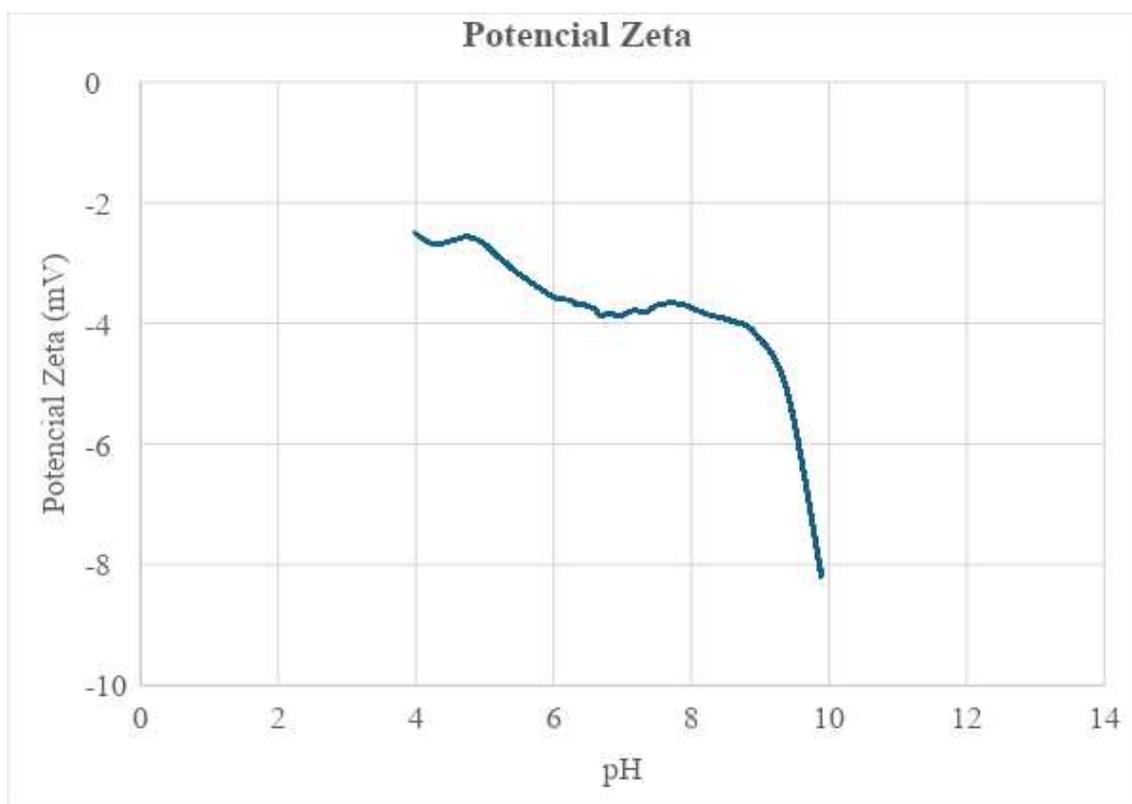
Fonte: Autora (2024).

#### 4.10 POTENCIAL ZETA

O gráfico da Figura 36 mostra a variação do potencial Zeta (em milivolts) em função do pH da fibra de Tucum. Na faixa de região ácida (pH 0 - 6) o potencial Zeta da fibra é relativamente estável, variando entre -2 mV e -4 mV. A partir de pH 6, o potencial Zeta da fibra começa a diminuir gradualmente, alcançando cerca de -4 mV a -5 mV por volta de pH 7.

Esta tendência continua até pH 9, onde ocorre uma queda mais acentuada no potencial Zeta. Após pH 9, o potencial Zeta cai drasticamente, atingindo valores de aproximadamente -9 mV em pH 10. O ponto isoelétrico, onde a carga superficial líquida é zero, não é claramente identificado na análise.

Figura 36 - Potencial Zeta da fibra *in natura*.



Fonte: Autora (2024)

Em suma, a presença de um potencial Zeta negativo em pH ácido sugere que a fibra celulósica possui grupos funcionais ionizáveis, como grupos carboxílicos ou hidroxilas, que permanecem ionizados mesmo em condições ácidas (Hu, *et al.* 2013; Fontes; Camargo; Sposito, 2001; Pandochi, 2009). Em pH alcalino, a fibra celulósica adquire uma carga negativa maior devido à desprotonação dos grupos funcionais. Este comportamento é típico de materiais contendo grupos carboxílicos e hidroxílicos que se ionizam em pH alto (Hu, *et al.* 2013; Fontes; Camargo; Sposito, 2001; Pandochi, 2009). O conhecimento do comportamento do potencial Zeta em função do pH pode ajudar a otimizar processos de tratamento químico, como a modificação da superfície da fibra para melhorar suas

propriedades de adsorção ou compatibilidade com matrizes poliméricas. Em formulações onde a fibra for utilizada, ajustar o pH para regiões onde a carga superficial é significativamente negativa pode melhorar a dispersão e a estabilidade do processo.

## 5. CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo principal a investigação das fibras de Tucum obtidas da espécie *Bactris setosa* Mart. para avaliar sua viabilidade e potencial de aplicação na indústria têxtil. A pesquisa foi motivada pela crescente preocupação com os impactos ambientais negativos associados ao uso intensivo de fibras sintéticas na indústria têxtil, e pela necessidade de encontrar alternativas mais sustentáveis. A fibra de Tucum se destaca por suas características promissoras de comprimento, finura e propriedades mecânicas, além de ser uma matéria-prima renovável e biodegradável, o que pode contribuir significativamente para a redução do impacto ambiental.

Os resultados das técnicas de extração das fibras de Tucum evidenciaram a eficiência dos métodos manuais e por via ácida, cada um apresentando particularidades em termos de cor, textura e sustentabilidade. A extração manual, embora mais trabalhosa, mostrou-se mais sustentável por não utilizar produtos químicos. O processo de pré-alveamento demonstrou ser eficaz na limpeza e branqueamento das fibras, preparando-as adequadamente para o tingimento, que foi realizado com sucesso utilizando corante direto, mostrando a afinidade tintorial da fibra de Tucum, com corante direto, similar ao algodão.

As análises das propriedades mecânicas revelaram que as fibras de Tucum possuem uma alta resistência à tração, comparável a algumas fibras sintéticas e naturais de alta performance. A fibra também apresentou um comportamento elástico desejável, sendo capaz de retornar à sua forma original após a remoção da carga. No entanto, sua natureza frágil em falhas deve ser considerada no design de aplicações.

A análise FTIR confirmou a presença de celulose, hemicelulose e lignina nas fibras, com alterações observadas no processo de extração ácida e nas fibras após o pré-alveamento, indicando a remoção de componentes não-celulósicos e a oxidação de grupos funcionais.

A viabilidade das fibras de Tucum para uso têxtil foi demonstrada não apenas pelas suas propriedades físicas e químicas, mas também pela sua capacidade de ser tingida e pela sua resistência mecânica. A pesquisa conclui que a fibra de Tucum é uma alternativa promissora às fibras sintéticas, contribuindo para práticas mais sustentáveis na indústria têxtil e valorizando técnicas tradicionais de produção.

Algumas limitações foram identificadas como a ausência de testes de fiação e tecelagem, o que fez que não fosse possível verificar o comportamento dos substratos e seu

processamento. Além disso, por existirem poucos estudos referentes à espécie, não obteve-se informações precisas sobre o ciclo de vida da planta e características de crescimento e sazonalidade da produção de folhas, aspectos importantes para conhecer a disponibilidade da coleta de folhas, sem agredir a palmeira, sendo necessários estudos mais aprofundados.

Por fim, este estudo abre caminho para futuras pesquisas que possam otimizar os métodos de extração e processamento das fibras de Tucum, bem como explorar suas aplicações em novos produtos têxteis, compósitos e outros materiais de engenharia. Acredita-se que a adoção de fibras naturais como a de Tucum na indústria têxtil poderá não só reduzir a dependência de recursos não renováveis como também promover uma maior sustentabilidade e inovação no setor.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, foram identificadas as seguintes propostas para dar continuidade ao estudo:

- a) Caracterizar e comparar as fibras extraídas de outras espécies de Tucum;
- b) Realizar a fiação e tecelagem das amostras e verificar o comportamento dos substratos;
- c) Realizar um estudo da planta, como solo e idade, e impactos causados na qualidade da fibra;
- d) Realizar um estudo comparativo das características das fibras de Tucum obtidas de folhas já pinadas e das folhas fechadas;
- e) Realizar testes de solidez das amostras tintas;
- f) Realizar tingimento com demais corantes e fazer as análises comparativas, verificando a cinética de tingimento;
- g) Efetuar imagens da seção transversal;
- h) Avaliar a biocompatibilidade da fibra de Tucum para possíveis aplicações em áreas como saúde e biomateriais;
- i) Explorar e testar outras formas de extração e processamento da fibra;
- j) Investigar a biodegradabilidade da fibra e seu tempo de decomposição pós uso;
- k) Desenvolver estudos aprofundados sobre o uso da fibra de Tucum em compósitos e verificar sua viabilidade para diferentes aplicações;
- l) Analisar o impacto de outros tratamentos químicos, como a mercerização, nas propriedades da fibra de Tucum;
- m) Realizar demais tratamentos químicos na fibra obtida via extração ácida;
- n) Verificar a densidade da fibra.

## REFERÊNCIAS

- ABIDI, N., CABRALES, L., HEQUET, E. Thermogravimetric analysis of developing cotton fibers. **Thermochim Acta**, v. 498, p. 27-32, 2010.
- ABIT. **Perfil do Setor**. 2023. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 10 out. de 2023.
- AGUIAR, C. R. L. de, *et al.* Beneficiamento. In: AGUIAR, C. R. L. de (org.). **Engenharia têxtil: uma abordagem simplificada**. 1 ed. Santa Catarina: Editora UFSC, 2022. p. 166 - 195.
- ALMEIDA, A. G. de, *et al.* **Microscopia Aplicada ao Controle de Qualidade de Produtos Têxteis**. II Colóquio de Moda. 2006. Salvador/BA.
- AMARAL, M. C. Industrial textile recycling and reuse in Brazil: case study and considerations concerning the circular economy. **Gest. Prod.**, v. 25, n. 3, p. 431-443, 2018.
- ANFF. **Zeta potential analysis**. Disponível em: <https://anff.org.au/equipment/zeta-potential-analysis/>. Acesso em: 12 jun. de 2024.
- ANTON PAAR. **Zeta potential**. 2019. Disponível em: <https://wiki.anton-paar.com/en/zeta-potential/>. Acesso em: 12 jun. de 2024.
- ASIM, M. *et al.* A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites. **International Journal of Polymer Science**, v. 2015, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12331: Fibras têxteis - Taxa convencional de condicionamento**.
- BECKER, G., *et al.* Estudo do Potencial Zeta na coagulação/floculação de suspensões de caulim. In: **Anais do 10º Salão internacional de ensino, pesquisa e extensão - SIEPE**. Universidade Federal do Pampa, Santana do Livramento, 2018. Disponível em: [https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arg\\_trabalhos/16227/seer\\_16227.pdf](https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arg_trabalhos/16227/seer_16227.pdf). Acesso em: 12 jun. de 2024.
- BERTHOMIEU, C; HIENERWADEL, R. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. **Photosynth Res**. v. 101, p.157–170, 2009.
- BIODIVERSITY4ALL. **Gênero *Bactris***. 2023. Disponível em: <https://www.biodiversity4all.org/taxa/85316-Bactris>. Acesso em: 08 jan. de 2024.
- BISMARCK, A., *et al.* Characterization of several modified jute fibers using Zeta-potential measurements. **Colloid Polym Sci**, v. 278, p. 229-235, 2000.
- BOEING, J. S., *et al.* Chemical characterization and protective effect of the *Bactris setosa* Mart. fruit against oxidative/nitrosative stress. **Food Chemistry**, v. 220, p. 427-437, 2017.

BOS, H. L., VAN DEN OEVER, M. J. A, PETERS, O. C. J. J. Tensile and compressive properties of flax fibres for natural fibre reinforced composites, **J Mater Sci**, v. 37, p. 1683–1692, 2002.

BRITANNICA. **Leaf fibre**. 2023. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/leaf-fiber>. Acesso em 10 jan. de 2024.

CALEGARI, M. R., *et al.* Fitólitos – Uma ferramenta para estudos de reconstituição paleoambiental: Conceitos e revisão sobre aplicações no Brasil. **Derbyana**, v. 43, 2022.

CANTO, L. B, PESSAN, L. A. Resistência à tração, flexão e compressão. In: CANEVALORO JR., S. V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. Artliber Editora, 2003a. p. 341 - 360.

CARDOSO, S. G. **Estudo das propriedades mecânicas e dos mecanismos de fratura de fibras sintéticas do tipo náilon e poliéster em tecidos de engenharia**. 2009. 151 p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais), Universidade de São Paulo - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2009.

CESA, F. S. **Microplásticos têxteis: emissão de fibras sintéticas na lavagem doméstica**. 2017. 156 p. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

CLARK, M. **Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Volume 1: Principles, Processes and Types of Dyes**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. 671 p. (Woodhead Publishing Series in Textiles).

CORTEZ, A. T. C. Consumo e desperdício: as duas faces das desigualdades. In: CORTEZ, A. T. C. ORTIGOZA, S. A. G., (org). **Da produção ao consumo: impactos socioambientais no espaço urbano**. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. p. 35 - 61.

CUNHA, M. D. S. B. da; ARRUDA, S. F. Tucum-do-Cerrado (*Bactris setosa* Mart.) May Promote Anti-Aging Effect by Upregulating SIRT1-Nrf2 Pathway and Attenuating Oxidative Stress and Inflammation. **Nutrients**, v. 9, n. 11, 2017.

DENARI, G. B., CAVALHEIRO, É. T. G. **Princípios e aplicações de análises térmicas**. São Carlos: IQSC/USP, 2012. 40 p.

DRANSFIELD, J., *et al.* **Genera Palmarum: the evolution and classification of palms**. 2008. Kew Publishing Royal Botanical Garden, Londres. 732p

DUARTE, A. Y. S. *et al.* Ethnobotany of Natural Fibres - *Bactris setosa* (Tucum) in a Traditional Rural Community. **Fibres & Textiles in Eastern Europe**, v. 20, n. 2(91), 2012. p. 18 - 20.

EEEP. **Fibras Têxteis. Curso Técnico em Tecelagem**. Ceará: Escola Estadual de Educação Profissional, 2022. Disponível em:

[https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2012/06/textil\\_fibras\\_texteis.pdf](https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2012/06/textil_fibras_texteis.pdf)  
Acesso em: 10 fev. de 2024.

ELIAS, G. A., *et al.* Palmeiras (Arecaceae) em Santa Catarina, sul do Brasil. 2018. **Iheringia, Série Botânica**, Porto Alegre, 73(2):88-107, 2018.

FAGUNDES, C. **Barra Velha tem a melhor artesã de Santa Catarina**. 2009. Disponível em:

<https://www.diariodajaragua.com.br/geral/barra-velha-tem-a-melhor-artesa-de-santa-catarina/111331/>. Acesso em: 15 jan. de 2024.

FLORA E FUNGA. *Bactris setosa* Mart. 2023a. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/consulta/ficha.html?idDadosListaBrasil=15698>. Acesso em: 10 out. de 2023.

FLORA E FUNGA. *Bactris hatschbachii* Noblick ex A.J.Hend. 2023b. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/consulta/ficha.html?idDadosListaBrasil=34009>. Acesso em: 10 out. de 2023.

FLORA E FUNGA.. *Bactris riparia* Mart. 2023c. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/consulta/ficha.html?idDadosListaBrasil=22119>. Acesso em: 10 out. de 2023.

FLORA E FUNGA.. *Bactris glaucescens* Drude. 2023d. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/consulta/ficha.html?idDadosListaBrasil=26572>. Acesso em: 10 out. de 2023.

FLORA E FUNGA.. *Astrocaryum huaimi* Mart. 2023e. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/consulta/ficha.html?idDadosListaBrasil=26565>. Acesso em: 10 out. de 2023.

FLORA E FUNGA.. *Astrocaryum vulgare* Mart. 2023f. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/consulta/ficha.html?idDadosListaBrasil=15674>. Acesso em: 10 out. de 2023.

FLORA E FUNGA.. *Astrocaryum chambira* Burret. 2023g. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/consulta/ficha.html?idDadosListaBrasil=22082>. Acesso em: 10 out. de 2023.

FLORA E FUNGA. *Bactris* Jacq. ex Scop.. 2023h. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/consulta/ficha.html?idDadosListaBrasil=15687>. Acesso em: 10 out. de 2023.

FONSECA, R. G. da, SANTANA, J. C. D. de. **Análise de Fios Equipamentos e Aspectos Relevantes de Qualidade**. Embrapa, Campina Grande/PB, 2003. 9 p.

FONSECA-KRUEL, V. S da, *et al.* **Plantas úteis da restinga: O saber dos pescadores artesanais de Arraial do Cabo, Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2006.

FONTES, M. P. F., CAMARGO, O. A. de, SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, v. 58, n.3, p. 627–646, 2001.

FRATTINI, L. M. **Morfologia de Areceaceae: os aspectos da família das Palmeiras**. 2021.

Disponível em:

<https://auepaisagismo.com/?id=morfologia-de-areceaceae:-os-aspectos-da-familia-das-palmeiras&in=2580>. Acesso em: 03 jun. de 2024.

FREITAS, R. R. M. de; *et al.* Influence of alkaline treatment on sisal fibre applied as reinforcement agent in composites of corn starch and cellulose acetate matrices. **Plastics, Rubber and Composites**. v. 50. p. 1-9. 2020.

GIACON, V. M.; FRANÇA, I. D. Caracterização Morfológica, Química, Mecânica e Térmica da Fibra de Tucum (*Bactris inundata*) visando sua utilização em compósitos poliméricos. In: **Anais do XXIX Congresso de Iniciação Científica da UFAM**. Anais. Manaus/AM UFAM, 2020. Disponível em:

[https://www.even3.com.br/anais/xxixconic/323381-caracterizacao-morfologica-quimica-mecanica-e-termica-da-fibra-de-tucum-\(bactris-inundata\)-visando-sua-utilizac](https://www.even3.com.br/anais/xxixconic/323381-caracterizacao-morfologica-quimica-mecanica-e-termica-da-fibra-de-tucum-(bactris-inundata)-visando-sua-utilizac). Acesso em: 30 mar. de 2024.

GONÇALVES, F. A. de C., *et al.* Fibras Vegetais: Aspectos Gerais, Aproveitamento, Inovação Tecnológica e uso em Compósitos. **Revista Espacios**, v. 39, n. 06, p. 12. 2018.

GUARATINI, C. C. I; ZANONI, M. V. B. Textile dyes. **Química Nova**, v. 23, p.71-78, 2000.

GUIMARÃES, B. M. G. **Estudo das características físico-químicas de fibras têxteis vegetais de espécies de Malvaceae**. 2014. 169 p. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

HAGE JR., E. Resistência ao Impacto. In: CANEVALORO JR., S. V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. Artliber Editora, 2003a. p. 17 - 39.

HALLIDAY, S. **Moda é a sexta indústria mais poluente do mundo**. Fashion Network. 2022. Disponível em:

<https://br.fashionnetwork.com/news/Moda-e-a-sexta-industria-mais-poluente-do-mundo,1444037.html>. Acesso em: 10 jan. de 2024.

HAO, *et al.* Utilizing cellulase as a hydrogen peroxide stabilizer to combine the biopolishing and bleaching procedures of cotton cellulose in one bath. **Cellulose**, v. 21, p. 777–789, 2014.

HO, M. C.; ONG, V. Z.; WU, T. Y. Potential use of alkaline hydrogen peroxide in lignocellulosic biomass pretreatment and valorization – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 112, p. 75–86, 2019.

HOUCK, M. M. Ways of identifying textile fibers and materials In: HOUCK, M. M. (org.). **Identification of textile fibers** 1 ed. Cambridge: Woodhead Publishing, Number 84. 2009. 390 p. (Woodhead Publishing Series in Textiles).

HU, X., *et al.* Effects of particle size and pH value on the hydrophilicity of graphene oxide. **Applied Surface Science**, v. 273, p. 118–121, 2013.

- ILVESSALO-PFÄFFLI, M. **Fiber Atlas: Identification of Papermaking Fibers**. 1995. 399 p. Springer Series in Wood Science.
- IMMICH, A. P. S. *et al.* Fibras. In: AGUIAR, C. R. L. de (org.). **Engenharia têxtil: uma abordagem simplificada**. 1 ed. Santa Catarina: Editora UFSC, 2022. p. 23 - 76.
- JENSEN, O. H., BALSLEV, H. Ethnobotany of the fiber palm *Astrocaryum chambirra* (Arecaceae) in Amazonian Ecuador. **Economic Botany**, v. 49, n. 3, p. 309-319, 1995.
- KARMAKAR, S. R. **Chemical Technology in the Pre-Treatment Processes of Textiles**. 1<sup>a</sup> ed. Amsterdã: Elsevier, 1999. 521 p.
- KAWANO, Y. Espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho. In: CANEVALORO JR., S. V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. Artliber Editora, 2003a. p. 17 - 39.
- KIM, D. -Y. *et al.* High-yield Carbonization of Cellulose by Sulfuric Acid Impregnation, **Cellulose**, v. 8, p. 29–33, 2001.
- KIRUTHIKA, A.V. A review of leaf fiber reinforced polymer composites. **J. Eng. Appl. Sci.** v. 71, n. 24, 2024.
- KUASNE, A. **Fibras Têxteis**. Curso Têxtil em Malharia e Confecção, Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina (CEFET/SC) Araranguá/SC. 2008. 90 p.
- KUMAR, S., *et al.* Physical and Mechanical Properties of Natural Leaf Fiber-Reinforced Epoxy Polyester Composites. **Polymers**, v. 13, n. 9, 2021.
- LA ROSA, A. D.; GRAMMATIKOS, S. A. Comparative Life Cycle Assessment of Cotton and Other Natural Fibers for Textile Applications. **Fibers**, v. 7, n. 101, 2019.
- LEÃO, M. A. **Fibras de licuri: Um reforço alternativo de compósitos poliméricos**. 2008. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- LORENZI, G. M. A. C; NEGRELLE, R. R. B. *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.: Aspectos ecológicos, usos e potencialidades. 2006. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/academica/article/viewFile/9021/6314>. Acesso: 10 jan. de 2024.
- LUXBACHER, T., *et al.* The Zeta potential of textile fabrics: a review. **Tekstil**, v. 65, n.9-10 p, 346-351, 2016.
- MALISKA, A. M. **Microscopia Eletrônica de varredura e microanálise**. Universidade Federal de Santa Catarina. 98 p.
- MARCHI, E. C. S., CASTRO, D. M. **Revisão de microscopia**. Ministério da educação e do desporto. Lavras, Universidade Federal de Lavras. Departamento de agricultura. 25 p. 2005.
- MATOS, J. do R., MACHADO, L. D. B. Análise térmica - Termogravimetria. In: CANEVALORO JR., S. V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. Artliber Editora, 2003a. p. 209 - 228.

MAURICIO, J. da C. **Obtenção e caracterização de nanoceluloses a partir da fibra de Tucum (*Astrocaryum chambira* Burret).** 2023. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2023.

MEDEIROS, R. **Sustentabilidade.** Portal de Educação Ambiental. Governo de São Paulo. 2022. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/sustentabilidade/>. Acesso em: 10 jan. de 2024

MEDINA, J C. **Plantas Fibrosas da Flora Mundial.** Instituto Agronômico de Campinas, São Paulo, Brasil, 1959, 913 p.

MOLTÓ, J. *et al.* Organic Compounds Produced during the Thermal Decomposition of Cotton Fabrics. **Environ Sci Technol** v. 39, 2005.

MOTHÉ, C. G.; AZEVEDO, A. D. de; **Análise térmica de materiais.** Artliber Editora, São Paulo, 2002.

MUSHTAQ, B. *et al.* Alternative Natural Fibers for Biocomposites. In: Nawab, Y. *et al.*, (ed.) **Natural Fibers to Composites: Process, Properties, Structures.** Springer Nature Switzerland. 2023. p. 1 - 18.

OLIVEIRA, C. R. S. de; **Desenvolvimento e caracterização de sensores em malhas de algodão e poliéster utilizando polianilina condutora e grafite.** 2015. 167 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

OLIVEIRA, C. R. S. de. *et al.*, Functionalization of cellulosic fibers with a kaolinite-TiO<sub>2</sub> nano-hybrid composite via a solvothermal process for flame retardant applications, **Carbohydr Polym**, v. 266, 2021a.

OLIVEIRA, C. R. S. de. *et al.*, Cotton fabric finishing based on phosphate/clay mineral by direct-coating technique and its influence on the thermal stability of the fibers. **Progress in Organic Coatings**, 2021b.

PANDOCHI, L. **Estudo do Comportamento Coloidal de Suspensão de Fibra de Celulose, Carbonato de Cálcio, Amido Catiônico:** Variação da Força Iônica e do pH. 2009. 58 p. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2009.

PAROLIN, M., *et al.* Publicações sobre fitólitos no estado do Paraná: o que a geografia tem a ver com isso? **Geoinf**, v. 15, n. 1, p. 49-67, 2023.

PENNAS, L. G. de A. **Caracterização Têxtil da fibra de Tucum (*Astrocaryum chambira* Burret).** 2019. 169 p. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

PEREIRA, G. de S. **Materiais e Processos têxteis.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Santa Catarina. 2009. 94 p.

PEREIRA, S. de J. *et al.* Morfologia e densidade básica das folhas de Tucum (*Bactris inundata* Martius) como fonte de fibras celulósicas para papel. **Ciênc. Florest.** v. 12, n.1, Jan-Jun 2002.

PICCOLI, H. H. **Processo de Alvejamento de Tecido de Malha de Algodão Utilizando Ozônio com Baixo Consumo de Água.** 2014. 139 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

PORTELLA, E. H., *et al.* Influence of Stacking Sequence on the Mechanical and Dynamic Mechanical Properties of Cotton/Glass Fiber Reinforced Polyester Composites. **Materials Research.** v. 19, 2016.

POZEBON, D., DRESSLER, V. L., CURTIUS, A. J. Análise de Cabelo: Uma revisão dos procedimentos para a determinação de elementos traço e aplicações. **Química Nova**, v. 22, n. 6, p. 838-846, 1999.

RAFTOYIANNIS, I. G. Experimental Testing of Composite Panels Reinforced with Cotton Fibers, **Open Journal of Composite Materials**, v. 02, p. 31–39, 2012.

REEDY, N.; YANG, Y. Properties and Potencial Applications of Natural Cellulose Fibers from Cornhusks. **Green Chemistry**, Cambridge, v. 7, n. 4, 2005. p. 190 - 195.

ROCHA, R. B., *et al.* Alimentícias - *Bactris gasipaes*. In: CORADIN, L; CAMILLO, J; VIEIRA, I. C. G. (Ed). **Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial: Plantas para o Futuro - Região Norte.** Brasília, DF: MMA, 2022. p. 181-200.

ROSA, L. Z. da, *et al.* A importância da hibridização para a preservação da variabilidade genética da família Arecaceae (palmeiras) frente a fatores antropogênicos: uma revisão sobre o caso da palmeira x *Butyragrus nabonnandii* (Prosch.) Vorste. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, 2021.

SALEM, V. **Tingimento Têxtil: Fibras, Conceitos e Tecnologias.** São Paulo: Blucher, 2010. 299 p.

SANTOS, A. L. A. **Estudo eletrocinético e de flotabilidade do pirocloro com coletores aniônicos e catiônico na presença de íons de cálcio e magnésio.** 2023. 190 p. Tese (Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

SATHISHKUMAR, T. P., *et al.* Characterization of natural fiber and composites - A review. **Journal of Reinforced Plastics and Composites.** v. 32. p. 1457-1476. 2013.

SCHLENNER, S. dos S. **Sustentabilidade social: modismo ou necessidade.** 2019. 26 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão da Tecnologia da Informação e Comunicação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

SCHRAMM, A. M.; CORBETTA, J. M. Desenvolvimento sustentável e sustentabilidade: conceitos antagônicos ou compatíveis? In: SOUZA, M. C. da S. A. de (org.). **Sustentabilidade, meio ambiente e sociedade: reflexões e perspectivas.** Umuarama: Universidade Paranaense – UNIPAR, 2015. p. 33-45.

SHUBHRA, Q. T., *et al.* Effect of matrix modification by natural rubber on the performance of silk-reinforced polypropylene composites, **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 29, p. 3338–3344, 2010.

SIBBR. *Bactris setosa* Mart. Disponível em: <https://ala-bie.sibbr.gov.br/ala-bie/species/284378#overview>. Acesso em: 06 de janeiro de 2023.

SILVA, K. A. da, *et al.* Extração e caracterização de fibras de tucum (*Bactris glaucescens* Drude) provenientes do pantanal. In: **Workshop da rede de Nanotecnologia Aplicada ao agronegócio**. 5., 2009, São Carlos. Anais. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. p. 196-197.

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

SMOLE, M. S., *et al.* Plant Fibres for Textile and Technical Applications. In: GRUNDAS, S. (ed.) **Advances in Agrophysical Research**. 2013.

SODRÉ, J. B. **Morfologia das Palmeiras como meio de identificação e uso paisagístico**. 2005. 65 p. Monografia (Especialização em Plantas Ornamentais e Paisagismo). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SOS Pantanal. **Tucum: fruto pantaneiro pode ser aliado no combate de doenças**. 2020. Disponível em: <https://www.sospantanal.org.br/tucum-fruto-pantaneiro-pode-ser-aliado-no-combate-de-doencas/>. Acesso em: 08 de out. de 2023.

SOUZA, A. K. R.; LIMA, D. M. V. de; OLIVEIRA, S. L. A. **Técnica FTIR e suas aplicações em amostras Orgânicas**. Enepex: Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão, UEMS/GEOF-Dourados/MS, out./2014.

SOUZA, R. dos S.; MENEZES, M. dos S.; BARATA, T. Q. F. **Tingimento têxtil: contextos e perspectivas dentro de uma produção mais limpa**. In: VII Simpósio de design sustentável. 2021, Curitiba. Disponível em: <https://eventos.ufpr.br/sds/sds/paper/viewFile/4520/996>. Acesso em: 10 jan. de 2024.

SOUZA, V. Y. V. de. **Análise da proteção antioxidante promovida por extratos de Tucum-do-cerrado (*Bactris setosa*)**. 2013. 66 p. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana). Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

STRÖMBERG, C. A. E., STILIO, V. S. Di, SONG, Z. Functions of phytoliths in vascular plants: an evolutionary perspective. **Functional Ecology**, v. 30, n. 8, p. 1286-1297, 2016.

TAHRI, I. *et al.* **Extraction and Characterization of Fibers from Palm Tree**. BioResources, v. 11, n. 3, p. 7016 – 7025, 2016.

VAN DER VELDEN, N. M.; PATEL, M. K.; VOGTLÄNDER, J. G. LCA benchmarking study on textiles made of cotton, polyester, nylon, acryl, or elastane. **Int J Life Cycle Assess**, v. 19, p. 331–356, 2014.

VÂRBAN, R. *et al.* Comparative FT-IR Prospecting for Cellulose in Stems of Some Fiber Plants: Flax, Velvet Leaf, Hemp and Jute, **Applied Sciences**. v. 11, n. 18, 2021.

VIEIRA, J. S. C. *et al.* **Processamento de biodiesel a partir de óleo de Tucum (*Bactris setosa*) por rota metálica**. VII Connepi (Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação), 2012.

VILLA, B. M. **Usos Tradicionais e Ecologia Histórica de Palmeiras Nativas em Santa Catarina**. 2021. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

WU, S. *et al.* The transformations of cellulose after concentrated sulfuric acid treatment and its impact on the enzymatic saccharification, **Biotechnology for Biofuels and Bioproducts**, v. 16, n. 36, 2023.

ZERONIAN, S. H.; INGLESBY, M. K. Bleaching of cellulose by hydrogen peroxide. **Cellulose**, v. 2, p. 265 - 272, 1995.

## APÊNDICE A - DADOS DE COMPRIMENTO DAS FIBRAS DE TUCUM

Tabela 7 - Comprimento das fibras de Tucum por extração manual

<b>Fibra</b>	<b>Comprimento (cm)</b>	<b>Fibra</b>	<b>Comprimento (cm)</b>	<b>Fibra</b>	<b>Comprimento (cm)</b>
1	25,5	34	16,5	67	31,5
2	26,3	35	35,3	68	11,6
3	30	36	20,8	69	23,6
4	30,5	37	28,5	70	18,7
5	27,2	38	34,2	71	31,3
6	31,2	39	17,1	72	24,1
7	29,4	40	30,9	73	30,1
8	28,4	41	29,3	74	26,9
9	28,8	42	21,6	75	26,8
10	31,2	43	26,5	76	39,1
11	29,2	44	24,9	77	28
12	29,3	45	26,7	78	20,5
13	21,2	46	33,9	79	33,4
14	25,6	47	10,1	80	27,7
15	24,3	48	19,4	81	24,2
16	26,5	49	22,6	82	12
17	33,6	50	31	83	15,1
18	34,2	51	30,2	84	18,5
19	23,3	52	15,9	85	14,7
20	24,2	53	23,7	86	24,1
21	36,5	54	30,2	87	31,2
22	38,6	55	18,9	88	26
23	21,2	56	25,4	89	28,4
24	25,8	57	37,6	90	23,2
25	16,9	58	21,3	91	27,5
26	22,1	59	29,8	92	27,9
27	33,8	60	32,1	93	25,5

28	15,9	61	17,5	94	26,6
29	27,6	62	34,4	95	25,6
30	38,4	63	22,6	96	24,2
31	19,2	64	11,2	97	30
32	24	65	35,4	98	14,8
33	31,7	66	19,7	99	16,2
				100	19,4

Fonte: Autora (2024)

Tabela 8 - Comprimento das fibras de Tucum por extração manual

<b>Fibra</b>	<b>Comprimento (cm)</b>	<b>Fibra</b>	<b>Comprimento (cm)</b>	<b>Fibra</b>	<b>Comprimento (cm)</b>
1	18,7	34	11,9	67	13,4
2	21,3	35	18,4	68	14,2
3	19,8	36	17,3	69	12,6
4	22,3	37	14,6	70	6,3
5	17,5	38	15,7	71	12,3
6	21,4	39	15,9	72	17,9
7	14,9	40	19,9	73	19,3
8	15,8	41	21,3	74	20,1
9	17,6	42	11,2	75	6,5
10	11,3	43	12,1	76	8,4
11	17,3	44	19,8	77	8,9
12	18,5	45	16,7	78	11,8
13	19,7	46	17,9	79	24,7
14	14,2	47	19,8	80	21,4
15	22,4	48	21,9	81	14,5
16	18,3	49	10,2	82	6,8
17	17,8	50	12,3	83	9,4
18	19,4	51	8,9	84	13,7
19	15,3	52	7,5	85	16
20	13,7	53	22,4	86	15,4

21	16,6	54	15,9	87	9,2
22	18,9	55	9,1	88	10,1
23	20,5	56	20,9	89	16,7
24	14,7	57	12,5	90	17,9
25	22	58	15,5	91	24,1
26	15,9	59	11,4	92	17,3
27	18,2	60	13,7	93	9,6
28	19,1	61	17,8	94	12,6
29	17,5	62	16,9	95	10,2
30	21,7	63	17,9	96	10,4
31	16,4	64	17,2	97	23,6
32	17,4	65	15	98	18,7
33	13,9	66	16,2	99	11,6
				100	17,4

Fonte: Autora (2024)

## APÊNDICE B - REGAIN

Tabela 9 - Valores obtidos no teste de Regain

	<b>Massa inicial (g)</b>	<b>Massa seca (g)</b>	<b>Regain</b>
Amostra tinta	0,3875	0,3545	9,31%
Amostra pré-alvejada	0,5214	0,4784	8,99%
Amostra <i>in natura</i>	0,5162	0,4666	10,63%
Amostra tinta	0,4391	0,4017	9,31%
Amostra tinta	0,4429	0,4062	9,03%
<b>Média</b>	0,46142	0,42148	9,45%
<b>Desvio padrão</b>	0,05679742072	0,05095769814	0,67%
<b>Coef. de variação</b>	12,31%	12,09%	7,13%

Fonte: Autora (2024)