
An analysis of the chemical and morphological properties of brazilian jute plant fiber (*Corchorus capsularis*): The Amazon fiber

Uma análise das propriedades químicas e morfológicas da fibra vegetal de juta brasileira (*Corchorus capsularis*): A fibra amazônica

Received: 2023-01-11 | Accepted: 2023-02-12 | Published: 2023-03-13

Abel de Oliveira Costa Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9602-305X>
Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: abelcostajr@ufam.edu.br

Dimas José Lasmar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0473-9876>
Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: dimas_lasmar@ufam.edu.br

Jamal da Silva Chaar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2697-0278>
Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: jchaar@gmail.com

ABSTRACT

In recent years, the development of new composites has increased a lot, especially those that use plant fibers as reinforcement material. A critical feature for this type of application is how these fibers behave in relation to temperature variation. In this sense, this research stands out among other thermodynamic studies carried out with jute vegetable fiber (*Corchorus capsularis*) natural from the Amazon region. The main objective of this study is to evaluate the thermal behavior of the mentioned fiber, through the loss of its mass until the decomposition of its structural components (natural moisture, hemicellulose, cellulose, lignin and its residual substances) when subjected to temperatures up to 900°C. Vegetable fibers have a high sensitivity to environmental effects, such as temperature variations and humidity itself. The sample preparation phase for the fiber under analysis was also addressed in this study, and it was found that different preparation techniques can have a direct impact on the results of the experiments.

Keywords: Vegetable fibers; Composites; Jute

RESUMO

Nos últimos anos, o desenvolvimento de novos compósitos aumentou muito, principalmente aqueles que utilizam fibras vegetais como material de reforço. Uma característica crítica para esse tipo de aplicação é como essas fibras se comportam em relação à variação de temperatura. Nesse sentido, a presente pesquisa destaca entre outros estudos termodinâmicos realizados com fibra vegetal de juta (*Corchorus capsularis*) natural da região amazônica. O objetivo principal deste estudo é avaliar o comportamento térmico da fibra citada, por meio das perdas de sua massa até a decomposição de seus componentes estruturais: (umidade natural, hemicelulose, celulose, lignina e suas substâncias residuais) quando submetidos a temperaturas até 900°C. As fibras vegetais possuem uma sensibilidade elevada aos efeitos ambientais, tais como variações de temperatura e a própria umidade. A fase de preparação da amostra para a fibra em análise também foi abordada neste estudo, e descobriu-se que diferentes técnicas de preparação podem ter um impacto direto nos resultados dos experimentos.

Palavras-chave: Fibras vegetais; Compósitos; Juta

INTRODUÇÃO

As fibras vegetais têm sido expostas em pesquisas como reforço estrutural de outros materiais, com o papel de aumentar a ductilidade e melhorar as propriedades mecânicas desses materiais. Essas fibras tem um valor de mercado menor que as fibras sintéticas, requerem menos energia para serem produzidas, não são tóxicas e são auto renováveis.

Dentre as fibras vegetais, a fibra de juta (*Corchorus capsularis*) é a que apresenta no mercado brasileiro as características necessárias para o presente estudo e uma das maiores fontes de fibras lignocelulósicas. Esta fibra foi introduzida no Brasil entre os anos de 1950 e 1980, nos estados do Amazonas, Pará e São Paulo, sendo esses atualmente os principais cultivadores da planta no país. A planta da fibra tem uma haste vertical com folhas, e cresce em clima quente e úmido, principalmente em áreas onde existe alta precipitação pluviométrica (SATYANARAYANA, 2007; JAHAN, 2016; MANSOURIAN, 2016). É uma das fibras vegetais mais baratas e de maior produção da China, Índia e Bangladesh sendo conhecida como a fibra dourada (RAMESH, 2017; RATHORE, 2017).

A juta (*Corchorus capsularis*) é uma erva lenhosa que alcança altura de 3 a 4 metros. Seu talo possui um diâmetro aproximadamente de 20 milímetros que cresce em climas umedecidos e tropicais. O semeio na Amazônia, varia em função do regime dos rios e do clima. O florescimento das plantas ocorre de 4 a 5 meses após o semeio e a colheita é imediata (SHOKRIEH, 2017).

A fibra útil fica entre a casca e o talo interno e a extração é feita pelo processo de maceração após o corte próximo ao solo com o uso de ferramentas de corte e a retirada da folhagem. Após esses procedimentos os feixes de plantas são colocados em água corrente ou parada com a finalidade de ocorrer o processo de amolecimento da casca. Para a obtenção de uma fibra de boa qualidade o comprimento médio deve estar em torno de 3,20 metros de haste e caule e devem ser cortados tão logo a flor murche (ADRIAN, 2018).

As fibras vegetais têm uma grande vantagem devido ao seu baixo custo, alta disponibilidade, baixa densidade, alta resistência, por ser um recurso renovável e pela facilidade de ser trabalhada pelas ferramentas de processamento. O baixo custo e a facilidade de encontrar a juta, a elegem como um destes materiais promissores nesta nova indústria que tende a ter destaque economicamente e ambientalmente (ADRIANO, 2017).

MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização química da fibra sem tratamento foi realizada através dos procedimentos padrões da Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI) para determinar o teor de holocelulose, hemicelulose, alfa-celulose, extrativos e ligninas.

Para a determinação dos teores de celulose foram utilizados os procedimentos da TAPPI-T222 om-88 (TAPPI, 1988) (alfa-celulose) e TAPPI-T 257 cm-85 (TAPPI, 1985) (holocelulose). Os teores de extrativos foram realizados por meio da extração por Soxhlet, seguindo o que preconiza a Norma TAPPI T 204 om 88 (TAPPI, 1988). A determinação o teor de lignina de Klason, insolúvel seguiu os procedimentos preconizados de acordo com a Norma TAPPI 222 om-22 (TAPPI, 2002).

1. Ensaio de Permeabilidade

Neste trabalho, o método referido foi empregado em duas ocasiões: uma para determinar o percentual de absorção de água pela fibra de juta, sem impregnação e a outra para determinar o percentual de água absorvida pela fibra impregnada. A avaliação e a escolha do tempo ideal de absorção de água foram por intermédio de comparações, feitas entre os dois ensaios, o que foi facilmente identificado graficamente.

Seguindo o método, na primeira parte, foi efetuado o ensaio de absorção de água, que consistiu da imersão das amostras em uma bandeja metálica, contendo água, por um período de tempo de 24 horas. A segunda parte do ensaio consistiu da determinação do percentual de água absorvida pela fibra impregnada com a resina epóxi. O procedimento foi semelhante à da primeira parte, que utilizou também 10 amostras, depois que foram impregnadas, durante os ensaios de absorção da resina de epóxi.

2. Ensaio de Determinação do Teor de Umidade

O teor de umidade da fibra de juta (*Corchorus capsularis*) foi determinado pela Norma Brasileira - NBR 9939 (ABNT, 2011). Foram feitas adaptações, por se tratar de fibra vegetal e também foi utilizado um analisador halógeno de umidade. O ensaio foi realizado em duplicata, e o peso das amostras estiveram entre 0,5 a 0,7 gramas, onde 0,5 g é a capacidade mínima do aparelho.

3. Ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura é utilizada para o estudo de estruturas superficiais de amostras com as mais variadas dimensões, produzindo imagens de alta resolução e ampliação de detalhes sem a perda da nitidez. A técnica de microscopia eletrônica de varredura é extremamente versátil e permite efetuar uma análise morfológica das amostras. As análises foram realizadas no Laboratório Temático de Microscopia Ótica e Eletrônica- LTMOE do INPA

(Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia), sendo utilizado o equipamento TM-3000 da Hitachi e aplicado uma tensão de aceleração de 15 kV.

4. Ensaio de Difractometria de Raios X (DRX)

Nos ensaios para caracterização das estruturas cristalinas dos elementos químicos que constituem os materiais de insumo do compósito da forma colaborante da fibra de juta (*Corchorus capsularis*), foi empregado o método de difração de Raio-X (DRX). O ensaio foi realizado no Laboratório de Nanotecnologia do IFAM - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Am.

O equipamento utilizado foi fabricado pela BRUKER, modelo D2 *Phaser diffractometer*, equipado com fenda de 0,6 mm, faca de 3mm, tubo de radiação de Cu ($k\alpha = 0,15406$ nm, 30 kV, 10 mA), range de varredura de 5 – 100° (2 θ THETA), num passo de 0,02°, com intensidades registradas por 1 s em cada passo. Após o ensaio, o laboratório de Nanotecnologia do IFAM forneceu o resultado da análise do material, com o qual foi plotado o respectivo gráfico de difratogramas utilizando-se o Programa X'Pert HighScore Plus e determinado o seu índice de cristalinidade, empregando o método empírico de (SEGAL *et al.*, 1959).

5. Análise Termogravimétrica (TG/TGA)

As técnicas termoanalíticas são utilizadas para a análise dos percentuais de perda de massa (TG), as temperaturas de degradação (DTG) e as diferenças do fluxo de calor das mudanças de fase do material analisado.

A análise termogravimétrica é definida como um processo em que a variação de massa da amostra (perda ou ganho de massa) é determinada como uma função da temperatura e/ou tempo, enquanto a amostra é submetida a uma programação controlada de temperatura.

O objetivo das análises termogravimétrica é determinar os percentuais de perda de massa do material, a temperatura inicial de degradação (T_{onset}) das fibras de juta tratada, além de verificação também a temperatura inicial de degradação (T_{onset} ou TG/TGA) dos compósitos obtidos, nas diferentes composições.

As análises termogravimétricas foram realizadas no Laboratório de Síntese e Caracterização de Nanomateriais no Instituto Federal do Amazonas (IFAM). Foi utilizado o equipamento SDT Q600 fabricado pela TA Instruments. Aproximadamente 10 mg em pó de cada amostra foram escaneados em um cadinho aberto de alumina de 90 microlitros sob uma atmosfera de gás N 5.0 com fluxo máximo de 30 ml/min, a uma taxa de aquecimento constante de 10 °C/min até a temperatura de 900 °C.

6. Microscopia da Fibra de Juta (*Corchorus capsularis*)

Nesse procedimento, foram verificados os aspectos da microestrutura da fibra de juta, por intermédio de imagens digitais produzidas através da microscopia ótica, visando observar, as interações internas da fibra, alinhado com o artigo de Melo Filho (2005), para o que, foi utilizado o microscópio eletrônico, invertido para rotina avançado, modelo AXIO Vert, A1 marca Zeiss, instalado no laboratório de nano tecnologia do Instituto Federal do Amazonas - IFAM.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados da Composição Química da Fibra Vegetal de Juta (*Corchorus capsularis*).

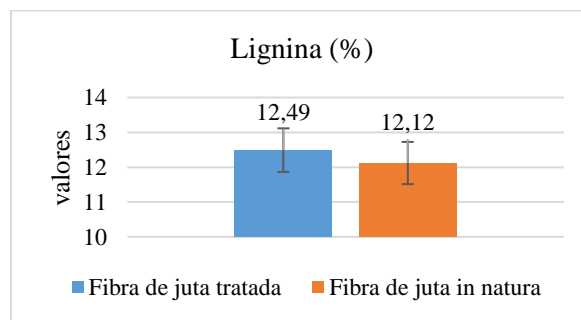
Tabela 01 - Componentes químicos da fibra de juta (*Corchorus capsularis*)

| Análise | Holocelulos | Alfa- | Hemicelulose | Lignina | Extrativos |
|----------------------------|-------------|-------|--------------|---------|------------|
| Fibra tratada | 83,14 | 64,01 | 19,13 | 12,49 | 4,36 |
| Fibra “ <i>in natura</i> ” | 85,40 | 59,20 | 26,20 | 12,12 | 1,90 |

Fonte: Autor (2021)

A Tabela 01 apresenta os resultados médios das porcentagens das composições químicas presentes na fibra, com e sem tratamento, aplicado na mesma. O valor do teor de lignina apresentados pela fibra tratada teve média de 12,49 % enquanto os resultados de Fidelis (2014); Marques (2015); Ferreira *et al.*, (2017) ficaram entre 4 % e 8,4 %. No entanto, o valor encontrado está conexo da faixa de valores de outros autores, 13,3 % e 15 % podendo ser decorrente do tipo e local da fibra.

Gráfico 01 - Teor de lignina da fibra de juta (*Corchorus capsularis*).

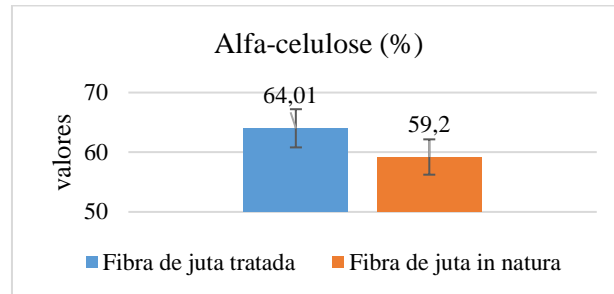


Fonte: Autor (2021)

A lignina pode atuar como barreira à formação de produtos de hidratação no interior da parede das fibras, dificultando a mineralização. A maior estabilidade dimensional da fibra devido à maior quantidade de lignina pode ocasionar resistência à degradação mais elevada devido à redução do deslocamento entre as fibras e a matriz. As mudanças dimensionais no decorrer dos ciclos de molhamento e secagem geram o deslocamento entre a fibra e a matriz impregnada de resina durante a alternância dos ciclos.

A fibra apresentou porcentagem de alfa-celulose de 64,01 %. Esse resultado corrobora com os valores encontrados em outros estudos, cuja porcentagem de alfa-celulose observada teve uma variação entre 60% e 74,4% (FIDELIS, 2014; MARQUES, 2015; FERREIRA *et al.*, 2018).

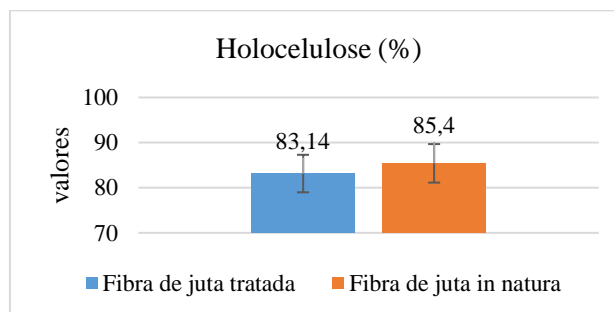
Gráfico 02 - Teor de alfa-celulose da fibra de juta (*Corchorus capsularis*).



Fonte: Autor (2021)

Seguindo a mesma tendência dos resultados da alfa-celulose, a porcentagem de hemicelulose (holocelulose – alfa-celulose) apresentou média entre as amostras de 19,13%, e esse resultado condiz com os valores encontrados (entre 12,8% e 22%) pelos mesmos pesquisadores acima citados. Estes dados são fundamentais porque dão suporte aos estudos realizados no presente trabalho sobre a obtenção de fibras e sua influência no processamento (extrudabilidade), no desempenho (físico e mecânico), na microestrutura e na durabilidade para compósitos manufaturados com fibras de juta (*Corchorus capsularis*).

Gráfico 03 - Teor de holocelulose da fibra de juta (*Corchorus capsularis*).



Fonte: Autor (2021)

A redução no teor de hemicelulose pode ser esclarecida pela forma como as fibras são extraídas da planta. As fibras em análise foram extraídas por maceração, processo pelo qual se separa as fibras da entrecasca da planta por remoção de pectinas e outras substâncias. Estes dados são fundamentais porque dão suporte aos estudos realizados no presente trabalho sobre a obtenção de nanofibrilas celulósicas e sobre a influência das fibras e nanofibrilas no processamento (extrudabilidade), no desempenho (físico e mecânico), na microestrutura e na durabilidade dos compósitos.

As hemiceluloses possuem natureza higroscópica, facilitam o processo de mineralização das fibras e são facilmente degradadas pelos álcalis presentes na água do cimento, prejudicando

a interface fibra/matriz (CHAFEI *et al.*, 2012, 2014). Comenta-se também que a presença de extrativos na superfície das fibras influencia na hidratação exotérmica do compósito.

1.1 Resultados do Ensaio de Permeabilidade

Os resultados e os dados relativos aos ensaios de absorção de água, para avaliação da permeabilidade da armadura fibrosa, estão constantes na Tabela 02, onde é mostrado tanto para a fibra de juta (*Corchorus capsularis*) natural como para a fibra impregnada os pesos iniciais (antes de imergir) e os pesos finais (depois de imerso).

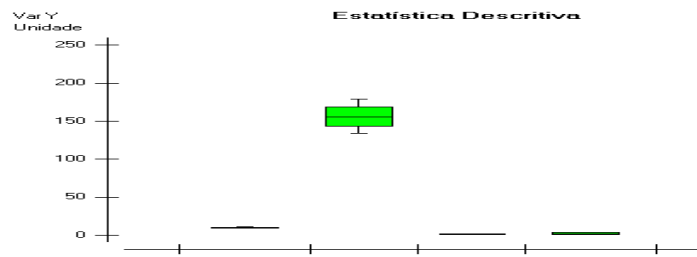
Tabela 02 - Dados e resultados do ensaio de absorção com resina epóxi

| AMOSTRA N° | PERMEABILIDADE DA FIBRA DE JUTA (PESO) | | | | PERMEABILIDADE DA FIBRA COM RESINA (PESO) | | | |
|---------------|--|-----------------------------------|----------|-------|--|-----------------------------------|----------|------|
| | INICIAL <i>P_i</i> (g) | FINAL <i>P_f</i> (g) | ABSORÇÃO | | INICIAL <i>P_i</i> (g) | FINAL <i>P_f</i> (g) | ABSORÇÃO | |
| | | | (g) | % | | | (g) | % |
| 1 | 6,15 | 16,5 | 10,5 | 169,1 | 63,5 | 63,8 | 0,2 | 0,3 |
| 2 | 6,05 | 14,8 | 8,9 | 147,4 | 61,9 | 62,1 | 0,1 | 0,2 |
| 3 | 5,9 | 15,3 | 9,4 | 159,1 | 62,7 | 63,5 | 0,6 | 1,0 |
| 4 | 6,3 | 16,8 | 10,4 | 163,5 | 63,7 | 64,3 | 0,6 | 0,9 |
| 5 | 6,1 | 15,3 | 9,2 | 152,5 | 38,7 | 40,2 | 1,5 | 3,8 |
| 6 | 6,1 | 15,0 | 8,9 | 147,7 | 46,2 | 47,1 | 0,85 | 1,9 |
| 7 | 6,25 | 15,0 | 8,6 | 133,3 | 43,1 | 44,7 | 1,5 | 3,5 |
| 8 | 6,28 | 15,6 | 9,4 | 149,4 | 38,8 | 40,1 | 1,3 | 3,4 |
| 9 | 6,3 | 17,5 | 11,2 | 178,6 | 49,6 | 50,6 | 1,0 | 2,0 |
| 10 | 6,1 | 15,9 | 9,8 | 155,4 | 48,7 | 49,1 | 0,4 | 0,8 |
| MÉDIA | 6,16 | 15,78 | 9,63 | 155,6 | 51,7 | 52,55 | 0,805 | 1,78 |

Fonte: Autor (2022)

De acordo com a Tabela 02, a quantidade total de água, absorvida pelo cordão de juta (*Corchorus capsularis*) em 24 horas de imersão, foi em média 9,6 g, que correspondeu a 1,5 (uma e meia) vezes o seu peso seco médio inicial, que foi de 6,2 g. Nesse trabalho, esse valor foi adotado como parâmetro da capacidade máxima de absorção da fibra.

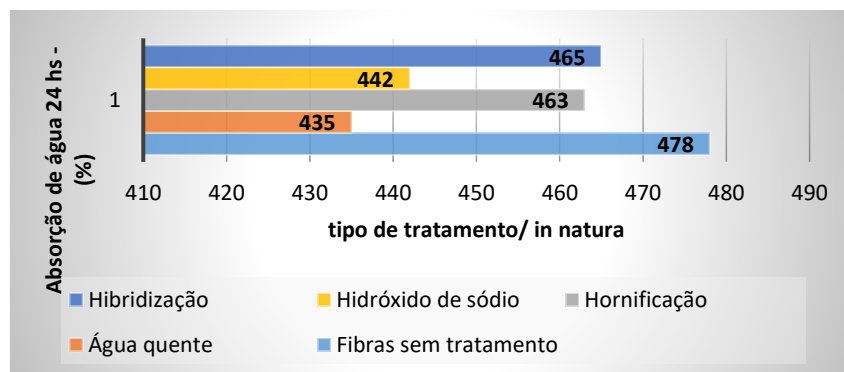
Considerando que, a armadura fibrosa também ficou em imersão por 24 horas, o mesmo período tempo da fibra, e depois desse tempo, foi verificada uma adição em seu peso final, apenas de 0,8 g de água em média. Também que, esse valor conteve parcelas de adsorção física de água na superfície do compósito. E principalmente porque o percentual de 155,6 % de absorção da fibra representou 100 vezes, o obtido no compósito, que foi de 1,78 %. Portanto, essas considerações são razões suficientes para concluir que não houve absorção pela fibra impregnada.

Figura 1 - Aplicação de ANOVA

Fonte: Autor (2022)

Aplicando ANOVA nos resultados de absorção de água pode-se verificar que não houve de imediato sobreposição entre os gráficos das colunas 1 e 4, logo isso tem significado que há evidência possível de diferença no material e método de ensaio. Foi observado que nas colunas 3 e 4 dos grupos da fibra de juta impregnada com resina em algum momento não haverá diferença e sim sobreposição.

Tal resultado corrobora que o tratamento de hornificação altera a superfície das fibrilas agrupando as cadeias de polissacarídeos da celulose, promovendo menor absorção de água (CLARAMUNT *et al.*, 2011; BALLESTEROS *et al.*, 2015; FERREIRA *et al.*, 2017) e o tratamento com água quente resulta em menores absorções de água devido às mudanças estruturais da fibra, que se tornaram mais rígidas e duras (ASASUTJARIT *et al.*, 2009; LERTWATTANARUK *et al.*, 2015).

Figura 2 - Absorção de água das fibras com e sem tratamento

Fonte: Autor (2022)

Como hipótese, a remoção de componentes de superfície com álcali que permitiu que a fibra absorvesse um volume ainda maior de água, devido à exposição de grupos OH pertencentes à celulose (em virtude dos tratamentos NaOH e hibridização), tornando as fibras tratadas mais hidrofílicas, principalmente com a remoção de substâncias solúveis que podem acarretar no aumento da resistência mecânica das mesmas, uma vez que promove a remoção da lignina (menor absorção de água) e o aumento da parcela de celulose amorfa (maior absorção de água) (QUIROGA *et al.*, 2016; KLOCK, 2005).

A celulose, hemicelulose e pectinas são geralmente fontes hidrofílicas e polares fortes, cujo tratamento NaOH aumenta o número "polar" das fibras. As funcionalidades superficiais

aumentaram a quantidade de água absorvida na fibra. Provavelmente, devido à remoção de substâncias como gomas e ceras das fibras naturais. O aumento da absorção, também pode ser explicada pela mudança na qualidade da superfície da fibra que após tratamento com álcalis se tornou mais limpa e com a possibilidade de formação de vários grupos de hidroxilas.

Já o tratamento de hibridização, que contou com uma parcela de branqueamento da fibra com o uso de peróxido de hidrogênio, tornou a fibra mais uniforme, devido à remoção de alguns materiais extracelulares, aumentando o grau de cristalinidade e a fibra adquiriu uma cor mais branca. A absorção de água é aumentada devido à remoção de substâncias hidrofóbicas expõe sítios hidrofílicos, além disso a fibra perdeu algum peso e tornou-se mais fina (YILMAZ, 2014).

Segundo Fidelis (2014) a capacidade de absorção de água pelas fibras está intimamente ligada ao quantitativo de celulose e hemicelulose presente nas fibras. Tal afirmação está coerente com os resultados obtidos na caracterização química, onde as maiores quantidades de holocelulose e alfa-celulose estão presente nas fibras que apresentaram a maior absorção.

2.1 Resultado do Ensaio de Teor de Umidade

A Tabela 3 apresenta a média do teor de umidade da fibra vegetal de juta (*Corchorus capsularis*). Pode-se notar que com os tratamentos químicos de NaOH e hibridização aumentaram o teor de umidade das fibras. A umidade entra em contato com a fibra, fazendo ligações de hidrogênio entre as fibras e suas paredes celulares, em que os grupos (OH) hidroxilas e a seção transversal da fibra são os principais acesso da absorção de água.

A umidade incha a fibra até certo momento, preenchendo os espaços vazios, permanecendo com água livre nos vazios da fibra, se as paredes celulares e as fibrilas são mais finas, a troca de umidade com o ambiente pode se tornar mais eficaz (NEITHALATH *et al.*, 2004; SPINACÉ *et al.*, 2009; KABIR *et al.*, 2012).

Os tratamentos de água quente e hornificação diminuíram o teor de umidade da fibra em 1,49 %, e o tratamento de água quente diminuiu em 2,4 %. Nos tratamentos de hornificação e água quente, a água quebra completamente as ligações de hidrogênio da parte amorfa das fibras lignocelulósicas, especialmente entre as fibrilas que se tornaram menos absorventes. Em outras palavras, após a secagem, elas não absorvem a mesma quantidade de água. A secagem reduz a área superficial da fibrila e altera permanentemente seu caráter superficial (DINIZ; GIL; CASTRO, 2004).

Tabela 3 - Teor de umidade da fibra de juta (*corchorus capsularis*)

| Material | <i>In natura</i> | Água quente | Hornificação | Hidroxido de | Hibridização |
|---------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Fibra de juta | 8,75 ± 0,01% | 8,54 ± 0,02 % | 8,62 ± 0,03 % | 8,58 ± 0,02 % | 8,57 ± 0,02 % |

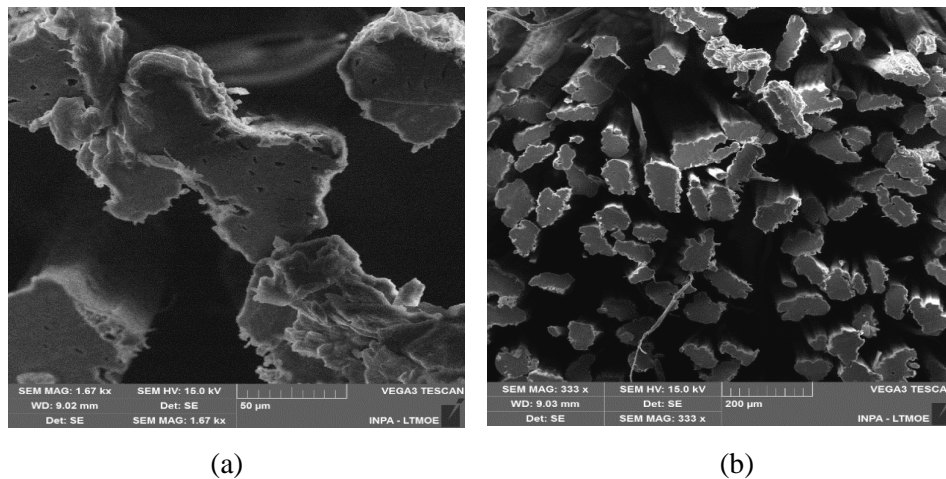
Fonte: Autor (2022)

O teor médio de umidade da fibra de juta (*Corchorus capsularis*) sem tratamento foi de 8,75 %, valor um pouco acima, porém, condizente com o encontrado para a fibra de juta “*in natura*” por Fidelis (2014) que foi igual a 8,59 %. O valor máximo do teor de umidade obtido por Margem (2013) foi de 11 % para fibras de malva e 17 % para fibras de juta relatado por Yan *et al.*, 2016. A natureza inerente das fibras de serem hidrofílicas e trocarem facilmente de umidade com o meio ambiente foi facilmente constatada no ensaio, pois, ao deixar esfriar a fibra por um tempo considerado pequeno, constataram-se teores de umidade de até 9 %.

3.1 Resultado da Caracterização Morfológica de Superfície da Fibra de Juta - Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

A figura 3 ilustra os aspectos topográficos da fibra de juta (*Corchorus capsularis*) no ensaio sem tratamento nas colunas (a) e (b). É possível avaliar a região superficial das fibras e nota-se que com o tratamento alcalino devido a remoção de impurezas, ceras e graxas bem como retirada parcial da lignina e da hemicelulose da superfície da fibra, assim como um aumento da rugosidade da superfície em relação a fibra não-tratada. Essa mudança na superfície aumenta com o percentual de hidróxido de sódio utilizado no tratamento promovendo uma melhoria na aderência da matriz com a fibra, que resulta melhoria nas propriedades mecânicas do compósito.

Figura 3 (a) e 3 (b) - Microscopia da fibra de juta (*Corchorus capsularis*)

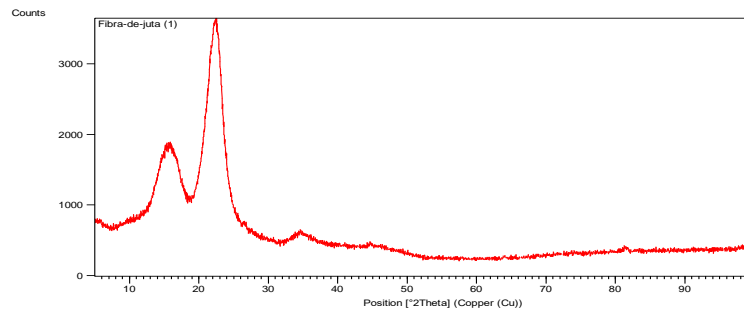


Fonte: Autor (2022)

4.1 Resultados das Estruturas Cristalinas dos Materiais – DRX

A Figura 4 apresenta o difratograma da fibra de juta. A través do método empírico e Segal (1959), foi possível determinar os índices de cristalinidade da fibra de juta (*Corchorus capsularis*).

Figuras 4 - Difratoograma da fibra de juta (*Corchorus capsularis*)



Fonte: Autor, 2021

Tabela 3 - Índice de cristalinidade da fibra de juta (*Corchorus capsularis*)

| Material | I ₍₀₀₂₎ | I _{am} | I _c % |
|---------------|--------------------|-----------------|------------------|
| Fibra de juta | 27.555,62 | 10.942,38 | 60,29 |

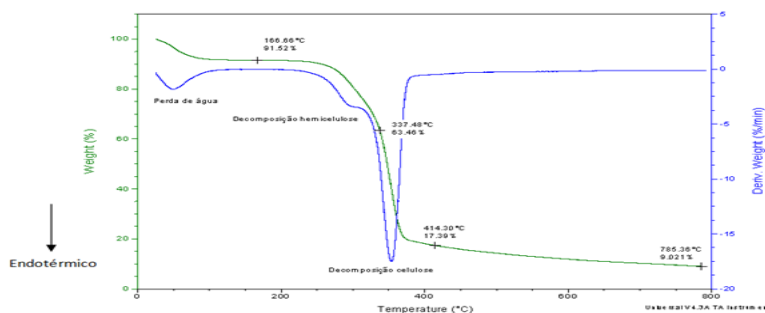
Fonte: Autor, 2022

A Figura acima mostra o difratograma da fibra de juta (*Corchorus capsularis*), onde pode ser observado regiões apresentando estruturas cristalinas com picos de difração e índice de cristalinidade no valor de CrI= 60,29 % e regiões amorfas em maior proporção. Os tratamentos implementados removeram parte de material amorfo da fibra de juta, proporcionando um maior empacotamento das cadeias celulósicas. Assim, pode-se afirmar que as fibras tratadas terão melhor interação com a resina epóxi para a confecção do compósito.

5.1 Curvas TG / DTG da Fibra de Juta (*Corchorus Capsularis*)

A perda de massa inicial em todas as curvas corresponde à volatilização de alguns componentes das fibras, principalmente água. A degradação principal ocorre entre 250 e 350 °C e está relacionada com a pirólise dos componentes de celulose (THOMAS *et al.*, 2015). A degradação pelo processo de pirólise ocorre de forma lenta e irreversível. O resíduo formado possui materiais inorgânicos que se transformam em cinzas em conjunto com os resíduos orgânicos não convertidos. Acima de 400 °C ocorre principalmente a aromatização da biomassa e acima dessa temperatura a degradação (YAMAN, 2004).

Figura 5 - Análise térmica do tecido de juta (*Corchorus capsularis*) *in natura*



Fonte: Autor (2022)

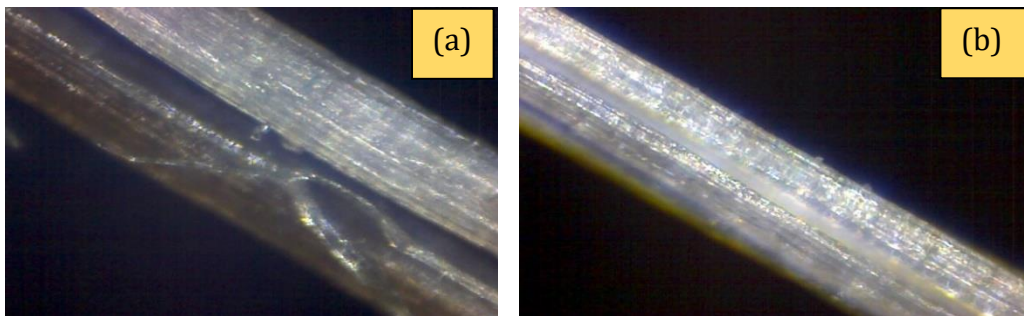
Na figura acima têm-se os resultados de TG/DTG da fibra vegetal de juta (*Corchorus capsularis*) processada de forma apicoada. Nota-se perda de água e dois estágios de decomposição em que até a temperatura de 166,66 °C acontece perda de massa de 8,48%. Entre as temperaturas de 166,66 °C e 337,48 °C incide perda mássica de 28,06 % referente à decomposição da hemicelulose. A perda de massa de 46,07 % na curva TG entre o intervalo de 337,48 °C e 414,30 °C atribui-se à celulose. Não foi evidenciado por meios das curvas TG/DTG perda de massa referente à decomposição da lignina.

Após determinado aumento de temperatura, pode ser considerada a máxima para o processamento de materiais lignocelulósicos, cujas amostras atingem a temperatura de início de degradação (T_{onset}), iniciando a degradação irreversível da biomassa. Os estágios de degradação principais de materiais lignocelulósicos são mais facilmente analisados por meio das curvas DTG, cujos picos se formam devido à adição da decomposição primária de seus principais componentes.

6.1 Resultado do Ensaio de Microscopia da Fibra de Juta (*Corchorus capsularis*)

Na observação dos fios de juta, conforme mostrado nas Figuras 6 (a) e 6 (b), constatou-se que os fios possuem um diâmetro de 1mm, por comparação com o traço do papel milimetrado, o fio tem aparência transparente amarelada, não tendo sido encontrado nenhum defeito no cordão que pudesse prejudicar o desempenho da fibra.

Figura 6 (a) e 6 (b) – Imagem ampliada da fibra pelo aparelho de estereoscopia



Fonte: Autor (2022)

A cobertura que envolve o cordão de fios é da cor marrom claro, utilizada para proteger a fibra contra os raios UV, mantendo o conjunto de fios interligados mutuamente e que apresentou algumas fissuras, mas é considerado normal, tendo em vista ser um material flexível, sujeito a esforços de tração. O material analisado apresentou boas condições de manufatura e conservação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento térmico da fibra analisado por TG e DTG revelou evidências de perda de água e decomposição estrutural na mesma. Entre 80 °C ~ 100 °C, aproximadamente, 10 % de umidade da fibra são liberadas, cuja perda de massa inicial é referente a água das fibras lignocelulósicas.

A umidade existente na fibra prejudica a criação de uma interface boa entre a fibra e a matriz. Para além da secagem deverão ser aplicados tratamentos químicos à fibra para melhorar a adesão destas à matriz, quer seja por compatibilização química ou por aumento da rugosidade que permite um maior atrito e ligação com a matriz, exatamente o que nos revelou o ensaio de permeabilidade.

A caracterização microestrutural das fibras revelou modificações na superfície como rugosidades e depressões na superfície fato este mostrado no ensaio de MEV. Todos os ensaios e análises realizadas apresentaram resultados significativamente melhores quando a fibra passou por tratamento. De maneira geral, verificou-se e constatou-se a influência dos tratamentos aplicados na fibra da juta.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9939/11: **Agregado graúdo** – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

ADRIAN, P. MOURITZ; RAJAPAKSE, Y.; **Explosion blast response of composites**, Journal of Composite Materials, Vol.49, pp.1141-1147, 2018.

ADRIANO, V. IGOR.; AWREJCEWICZ, JAN.; DANISHEVSKYY, V. VLADYSLAV. **Asymptotical Mechanics of Composites Modelling Composites without FEM**, Cultural Científico, Vol.35, pp. 2369-2380, 2017.

ASASUTJARIT, C.; CHAROENVAI, S.; HIRUNLABH, J.; KHEDARI, J. Materials and mechanical properties of pretreated coir-based green composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 40, n. 7, p. 633-637, 2009.

BALLESTEROS, J. E. M; SANTOS, S. F.; MÁRMOL, G.; SAVASTANO JR, H; FIORELLI, J. Evaluation of cellulosic pulps treated by hornification as reinforcement of cementitious composites. **Construction and Building Materials**, v. 100, p. 83-90, 2015.

CHAFEI, S. *et al.* **Influence du traitement des fibres de lin sur la rhéologie et les performances d'un mortier-analyse de la durabilité.** In: FRENCH INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 1., 2012, Toulouse. Proceedings. Toulouse: NoMaD, 2012.

CHAFEI, S. *et al.* Optimizing the formulation of flax fiber-reinforced cement composites. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 54, n. 1, p. 59-64, Mar. 2014.

CLARAMUNT, J.; ARDANUY, M.; GARCÍA-HORTAL; J. A.; TOLÊDO FILHO, R. D. The hornification of vegetable fibers to improve the durability of cement mortar composites. **Cement and Concrete Composites**, v. 33, n. 5, p. 586-595, 2011.

DINIZ, J. M. B. F.; GIL, M. H.; CASTRO, J. A. A. M. Hornification—its origin and interpretation in wood pulps. **Wood Science and Technology**, v. 37, n. 6, p. 489-494, 2004.

FERREIRA, S. R.; SILVA, F. A.; LIMA, P. R. L.; TOLDEO FILHO, R. D. Effect of hornification on the structure, tensile behavior and fiber matrix bond of sisal, jute and curauá fiber cement based composite systems. **Construction and Building Materials**, v. 139, p. 551- 561, 2017.

FERREIRA, S. R.; PEPE, M.; MARTINELLI, E.; SILVA, F. A.; TOLEDO FILHO, R. D. Influence of natural fibers characteristics on the interface mechanics with cement-based matrices. **Composites Part B: Engineering**, v. 1401, p. 183-196, 2018.

FIDELIS, M. E. A. **Desenvolvimento e caracterização mecânica de compósitos cimentícios têxteis reforçados com fibras de juta.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

JAHAN, M.S. *et al.* Chemical characteristics of ribbon retted jute and its effect on pulping and papermaking properties. **Industrial Crops and Products**, v. 84, p. 116 – 120, 2016.

KABIR, M. M.; WANG, H.; LAU, K. T.; CARDONA, F. Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. **Composites Part B: Engineering**, v. 43, n. 7, p. 2883-2892, 2012.

KLOCK, U.; MUNIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, I. S. **Química da Madeira**, 3. ed., Universidade Federal do Paraná, 2005.

LERTWATTANARUK, P. SUNTIJITTO, A. Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications. **Construction and Building Materials**, v. 94, p. 664-669, 2015.

MARQUES, S. G. M. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas e da durabilidade de compósitos cimentícios reforçados com fibra amazônica.** Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlo-SP, 2015.

MANSOURIAN, A; RAZMI, A; RAZAVI, M. Evaluation of fracture resistance of warm mix asphalt containing jute fibers. **Construction e Building Materials**, v. 117, p. 37 – 46, 2016.

MELO FILHO, J. A. Desenvolvimento e caracterização de laminados cimentícios reforçados com fibras longas de sisal. 2005. 124 f. **Universidade Federal do Rio de Janeiro**, COPPE, 2005.

NEITHALATH, N.; WEISS, J.; OLEK, J. Acoustic performance and damping behavior of cellulose–cement composites. **Cement and Concrete Composites**, v. 26, n. 4, p. 359-370, 2004.

QUIROGA, A. MARZOCCHI, V., RINTOUL, I. Influence of wood treatments on mechanical properties of wood–cement composites and of *Populus Euroamericana* wood fibers. **Composites Part B: Engineering**, v. 84, p. 25-32, 2016.

RAMESH, M.; PALANIKUMAR, K.; REDDY, K. H. Plant fibre based bio-composites: Sustainable and renewable green materials. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p. 558 – 584, 2017.

RATHORE, A.; PRADHAN, M. K. Hybrid Cellulose Bionanocomposites from banana and jute fibre: A Review of Preparation, Properties and Applications. **Materials Today: Proceedings**, v. 4, n. 2, p. 3942-3951, 2017.

SATYANARAYANA K.G. GUIMARÃES. J.L. WYPYCH F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 38, I.7, p.1694-1709, 2007.

SEGAL, L. et al. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. **Textile Research Journal, Princeton**, v. 29, n. 10, p. 786-794, Oct. 1959.

SHOKRIEH, M. MAHMOOD. Residual stresses in Composites. **Composites Structures**, Vol.92, pp.2901-2905, 2017.

SPINACÉ, M. A. S.; LAMBERT, C. S.; FERMOSELLI, K. K. G.; PAOLI, M. A. Characterization of lignocellulosic curaua fibres. **Carbohydrate Polymers**, v. 77, n. 1, p. 47- 53, 2009.

TAPPI. **T 204 om-88**: Solvent extractives of wood and pulp. 2007.

TAPPI. **T 222om-88**: Acid-insoluble lignin in wood and pulp. 2006.

TAPPI. **T 257 cm-85**: Sampling And Preparing Wood For Analysis. 2002.

THOMAS, M. G. et al. Nanocelluloses from jute fibers and their nanocomposites with natural rubber: preparation and characterization. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 81, n. 1, p. 768-777, Nov. 2015.

YILMAZ, N. D. **Agro-Residual Fibers as Potential Reinforcement Elements for Biocomposites. In Lignocellulosic Polymer Composites**, Thakur V.K., Edd.; Scrivener Pulising: Denizli, Turkey, 2014, p. 231-270.

YAMAN, S. Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstock. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 45, n. 1, p. 651-671, Nov. 2004.