

Caracterização química da fibra do caule da palmeira de babaçu natural e após tratamento

Chemical characterization of the fiber of the stem of the babassu palm tree natural and after treatment

Josélia Borges de moura Furtado¹  [Orcid.org/0000-0002-6508-6656](https://orcid.org/0000-0002-6508-6656)

Paulo Afonso Furtado Filho²  [Orcid.org/0000-0002-4190-8918](https://orcid.org/0000-0002-4190-8918)

Thalyta Pereira Oliveira¹  [Orcid.org/0000-0003-1213-2054](https://orcid.org/0000-0003-1213-2054)

Marlo Rodrigues de Sousa Caetano¹  [Orcid.org/0000-0001-5933-8098](https://orcid.org/0000-0001-5933-8098)

Inês Maria de Souza Araújo¹  [Orcid.org/0000-0001-8298-7416](https://orcid.org/0000-0001-8298-7416)

Francisco Cardoso Figueiredo³  [Orcid.org/0000-0003-2938-6480](https://orcid.org/0000-0003-2938-6480)

José Ribeiro dos Santos Júnior¹  [Orcid.org/0000-0003-21972020](https://orcid.org/0000-0003-21972020)

¹ Universidade Federal do Piauí, Departamento de Química, 64049-550, Teresina-PI, Brasil.

² Universidade Federal do Piauí/CEAD, Departamento de Física, 64001-280, Teresina-PI, Brasil.

³ Universidade Federal do Piauí, Colégio Técnico de Teresina, 64049-550, Teresina-PI, Brasil.

E-mail do autor principal: Josélia Borges de Moura Furtado joselifurtado@gmail.com

Resumo

Neste trabalho foi proposta a caracterização química da fibra retirada a partir do caule da palmeira de babaçu. Estudos sobre o efeito do pré-tratamento químico alcalino e do teor dos principais componentes químicos presentes também foram realizados. Após a obtenção da fibra de babaçu na forma natural e mercerizada, as amostras foram submetidas às análises de FTIR, SEM, XDR e TG/DTG. Os resultados mostraram a eficiência do processo de pré-tratamento químico utilizado, revelando que a fibra de babaçu apresentou uma melhor propriedade físico-química. A remoção parcial dos componentes amorfos contribuiu para o melhoramento das propriedades mecânica e térmica. Após o processo de extração dos principais componentes lignocelulósico, a fibra de babaçu também revelou uma alta porcentagem de material cristalino em sua composição.

Palavras-Chave: Babaçu; Mercerização; Extrativos; Propriedades.

Abstract

In this work the chemical characterization of the fiber removed from the stem of the babassu palm was proposed. Studies on the effect of alkaline chemical pretreatment and the content of the main chemical components present were also carried out. After obtaining the babassu fiber in natural and mercerized form, the samples were submitted to FTIR, SEM, XDR, and TG / DTG analyzes. The results showed the efficiency of the chemical pre-treatment process used, revealing that the babassu fiber presented a better physicochemical properties. The partial removal of the amorphous components contributed to the improvement of the

mechanical and thermal properties. After extracting the major lignocellulosic components, babassu fiber also revealed a high percentage of crystalline material in its composition.

Key-words: Babassu; Mercerization; Extractives; Properties.

1 Introdução

As fibras apresentam uma variedade de componentes químicos, sendo constituída principalmente de celulose, hemicelulose e lignina. Os extrativos, que são os materiais superficiais da fibra compostos de ceras, pectinas e etc. também fazem parte dos componentes químicos das fibras vegetais [1,2,3,4].

A composição química das fibras vegetais bem como a sua microestrutura morfológica é de alta complexidade devida à alta organização dos diferentes compostos que formam a sua composição, em que as propriedades individuais de cada um de seus componentes contribuem para as propriedades globais dessas fibras [1]. Segundo a literatura, na parede vegetal, ocorre a formação de um complexo, em que, as fibrilas de celulose se unem às hemiceluloses, que por sua vez, são envolvidas pela lignina.

A organização estrutural das fibras celulósicas consiste em microfibrilas helicoidalmente enroladas, unidas por uma matriz amorfa de lignina [5]. Ela é composta por duas moléculas de glicose eterificadas por ligações β -1,4-glicosídicas. A união dessas moléculas é conhecida como celobiose, esta unidade repetidora contém seis grupos hidroxila que estabelecem interações do tipo ligações de hidrogênio intra e intermolecular. Essa organização estrutural confere à celulose as propriedades mecânicas da fibra [6,7,8].

A estrutura molecular da celulose é responsável pela estrutura supramolecular que determina algumas propriedades físicas, químicas e mecânicas. A celulose também é responsável pelo caráter cristalino da fibra, mas também pode ser encontrada na forma amorfa, é bastante resistente a ataques alcalinos, porém é facilmente hidrolisado em ácidos e também é bastante resistente a agentes oxidantes [1,7].

As hemiceluloses são polissacarídeos que ocorrem normalmente associadas à celulose, em paredes celulares. A hemicelulose consiste de vários monossacarídeos polimerizados, incluindo carboidratos de cinco carbonos (como xilose e arabinose), carboidratos de seis carbonos (como galactose, glucose e manose), ácido 4-O-metilglucurônico e resíduos de ácido galacturônico. É

bastante hidrofílica, e contém considerável grau de ramificação entre suas cadeias, com natureza altamente amorfa. A lignina é um material hidrofóbico com estrutura tridimensional, altamente ramificada, podendo ser classificada como um polifenol. Cada componente químico da fibra apresenta uma propriedade específica, como por exemplo, a hemicelulose age como barreira natural contra a degradação por microrganismo, além da proteção mecânica da fibra [1,3,5].

As fibras vegetais de um modo geral apresentam grandes vantagens como, abundantemente disponíveis, baixo peso, são biodegradáveis, renováveis, natureza abrasiva baixa, exibem boas propriedades mecânica e são recicláveis. As fibras vegetais apresentam também desvantagens, absorção de umidade, variação de qualidade, baixa estabilidade térmica e baixa compatibilidade quando unida em matriz polimérica hidrofóbica. Uma das razões para essas desvantagens é a presença dos extrativos, que impede a exposição das fibrilas, com isso, a fibra diminui suas propriedades cristalinas e térmicas [5,9,10]. A microscopia Eletrônica de Varredura é usada para identificar a morfologia dos componentes superficiais da fibra.

O tratamento álcali ou mercerização é um dos métodos de tratamento químico mais usado em fibras vegetais [11]. A mercerização é usada comumente no processo de refino de fibra celulose, [12] produzindo fibras de alta qualidade [13]. Este tratamento causa a quebra da fibra em fibras menores, reduz o diâmetro da fibra, aumenta a rugosidade superficial da fibra, o que melhora a adesão interfacial fibra-matriz e aumenta o número de sítios reativos possíveis.

A mercerização também tem efeito sobre a composição química da fibra, grau de polimerização e orientação molecular dos cristalitos celulósico, devido à remoção parcial da lignina e hemicelulose durante o processo [5]. Com esse tratamento também é possível limpar e modificar quimicamente a superfície, proporcionando o desfibrilamento, ou seja, a desagregação das fibras em microfibras [11], além de diminuir o processo de absorção de umidade [14].

O Brasil é um dos países que apresenta uma enorme variedade de recursos vegetais, entre eles, destaca-se a palmeira de babaçu (*Attalea speciosa*), que ocorre de forma nativa, em uma área estimada

de 13 a 18 milhões de hectares distribuídos em onze estados brasileiros [15,16]. Uma palmeira de médio a grande porte, podendo atingir até 20 m de altura, com uma ocorrência superior a 200 palmeiras por hectares. Os estados de maior concentração são Tocantins, Maranhão e Piauí. No Piauí, esta palmeira ocorre de forma contínua nas regiões do médio e baixo Parnaíba [15,16]. Por se tratar de uma palmeira nativa, altamente abundante, e de ocorrência contínua, torna-se de grande importância, para o aproveitamento, o estudo das propriedades físico-químicas desta biomassa.

Este trabalho tem como objetivo caracterizar a fibra retirada do caule da palmeira de babaçu, estudando o efeito do pré-tratamento químico alcalino (NaOH) sobre as novas propriedades do material obtido, bem como quantificar os principais componentes químicos presentes na fibra.

2 Metodologia

2.1 Mercerização das Fibras do caule

As fibras utilizadas nesse trabalho foram obtidas do caule da palmeira de babaçu, no Estado do Piauí. A extração das fibras foi realizada manualmente (Figura 1 (a)). Depois de obtidas, as fibras sofreram processo de tratamento químico, para o melhoramento de suas propriedades superficiais.

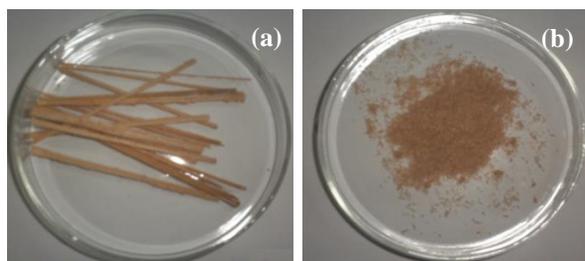


Figura 1: Fibra de babaçu (a) extraída manualmente e (b) após pré-tratamento químico alcalino. Fonte: autor (2017).

O pré-tratamento químico alcalino utilizado foi a mercerização, que consistiu na imersão das fibras em solução de NaOH 10%. As fibras permaneceram em solução por 2 horas, sob uma temperatura de 80 °C. Nesse intervalo de tempo verificou-se uma mudança na coloração da solução (Figura 2 (a), (b) e (c)), passando de transparente para marrom escuro.

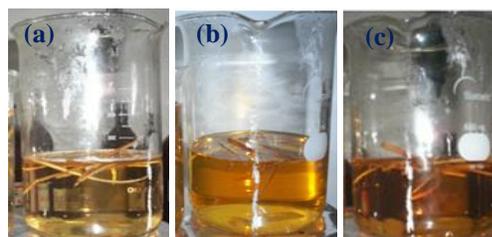


Figura 2: Mudança de cor da solução no processo de mercerização. Fonte: autor (2017).

Essa mudança de coloração está associada à perda de materiais superficiais da fibra, incluindo lignina e hemicelulose, que são solubilizadas na solução alcalina, devido a esses componentes da fibra serem sensíveis a este tratamento químico. Após esse tempo, a solução foi filtrada e as fibras foram lavadas com bastante água destilada para a remoção de excesso de solução de NaOH, impurezas e substâncias solúveis provenientes do tratamento químico. Para a secagem das fibras, utilizou-se uma estufa a 60 °C por um período de 24 horas. Depois de secas, as fibras foram moídas, em seguida maceradas (Figura 1(b)). Desta maneira, obteve-se fibras moídas para a realização das análises. As fibras foram analisadas por Espectroscopia na Região do Infravermelho (BRUCKER, modelo VERTEX 70, ATR, software OPUS, na região de 600-4000 cm^{-1} com margem de erro de 4 cm^{-1} e 64 scans), Microscopia Eletrônica de Varredura (SHIMADZU, modelo SSX-550 superscan, e uma metalizadora de marca Sanyu Electron e modelo Quick Coater SC-701), Difração de Raios-X (SHIMADZU, modelo XDR 6000, com radiação α Cu, tensão de 40 kV, corrente 30 mA, varredura 2 θ entre 5°-75°, velocidade de varredura de 2 °/min) e Termogravimetria (módulo TG / DTG-DTA Q600 TA Instruments, 25-900 °C, a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min).

2.2 Quantificação dos extrativos solúveis em solvente orgânico e água

A remoção dos extrativos das fibras, segundo a ASTM D1106 (2013) é importante, pois a sua presença interfere nos resultados dos outros constituintes, como holocelulose e principalmente a lignina. As fibras foram moídas em um moinho de facas e ficaram condicionadas por um período

de 72 horas em estufa antes do início da extração dos extrativos. O processo de obtenção dos extrativos foi dividido em três etapas. Na primeira etapa, cerca de 4,0 g de fibras foram tratadas com acetona por 6 h em extrator Soxhlet. Após esse tempo, o balão contendo solvente e extrativos foi removido e o solvente foi recuperado. O extrato residual do balão foi transferido para um recipiente limpo e previamente pesado e mantido em estufa a 105 °C por 1 hora. Após esse tempo, o recipiente foi levado ao dessecador para resfriamento por 30 minutos e em seguida sua massa foi pesada. Com esta etapa foi possível calcular o teor de extrativos das fibras.

Com as fibras livres de extrativos e umidade, foi possível quantificar o teor de lignina, holocelulose e celulose. O teor de lignina solúvel e insolúvel foi calculado segundo a Norma TAPPI T222 om-22 (2002c). Após a extração dos extrativos, as fibras foram submetidas em hidrólise ácida (72%, m/m), e em seguida, foi iniciado processo de filtração. O filtrado foi recolhido e submetido à análise por Espectroscopia na Região do Ultravioleta-Visível, para a determinação do teor de lignina solúvel, e no material sólido retido no funil foi determinado o teor de lignina insolúvel.

O teor de holocelulose, que se refere aos carboidratos totais presentes em uma célula vegetal, ou seja, celulose e hemicelulose, foi calculado segundo a norma TAPPI T19m-54, utilizando clorito de sódio (80%) e ácido acético glacial (99,8%) em um banho-maria. Para a determinação do teor de celulose, seguiu-se a norma TAPPI T19m-54 standard (1991), através do tratamento da holocelulose obtida na etapa anterior com solução de hidróxido de sódio 17,5%. O teor de hemicelulose foi calculado a partir da diferença do valor do teor de celulose e holocelulose [17].

3 Resultados e Discussão

3.1 Modificação química das fibras

A alteração da composição química na superfície da fibra com o pré-tratamento químico alcalino é mostrada a seguir (Figura 3). A região compreendida entre 3200 - 3600 cm^{-1} mostra o pico de estiramento da banda OH da celulose, lignina e hemicelulose. Com o pré-tratamento

alcalino o pico de absorção nessa região ficou mais definido, segundo Sanchez, o aumento da absorção está relacionado à presença de grupos hidroxilas liberados após a quebra de ligações da hemicelulose, da lignina e da celulose após o tratamento químico [18]. O pico em 2919 cm^{-1} é atribuído aos estiramentos -CH e -CH₂ [19]. Ocorre também o desaparecimento do pico em 1725 cm^{-1} . Esse pico está relacionado a estiramento de grupo carbonila (C=O) presentes na hemicelulose e na lignina [10,18,20,21,22,23].

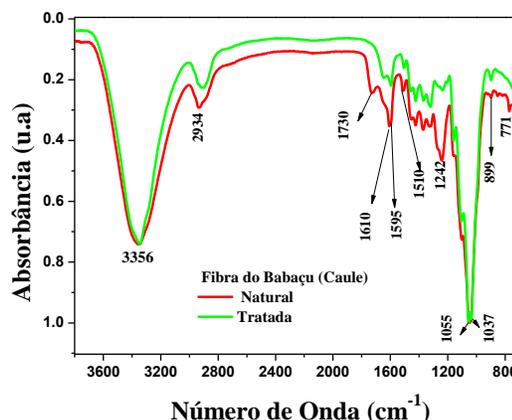


Figura 3: Espectro de Infravermelho das fibras de babaçu natural e mercerizada.

Fonte: autor (2017).

Ocorre também uma grande redução do pico em 1244 cm^{-1} , associado ao grupo C-O-C presentes também na hemicelulose e na lignina [23,24], do pico em 1510 cm^{-1} (vibração C-H de lignina), e do pico em 1595 cm^{-1} (vibração C=C de anel aromático de lignina) [10,24]. Os componentes lignocelulósico da fibra são removidos devido à sua solubilidade em solução alcalina de NaOH (10%), como consequência, ocorre redução ou remoção de alguns picos referentes a esses componentes [23,25].

Esses resultados revelam a eficiência do método utilizado para o pré-tratamento químico alcalino da fibra, e corroboram com os difratogramas que mostram um maior alinhamento dos anéis glicosídicos da fibra.

3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

A seguir (Figura 4), é mostrado os resultados das imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura das amostras estudadas. A micrografia da fibra natural (Figura 4 (a)) mostra uma grande quantidade de células de parênquima (superfície escamosa), que solubilizam durante o pré-tratamento químico alcalino. Isso provoca uma limpeza na fibra, tornando a superfície lisa e rica em fibrilas (Figura 4 (b)) [25].

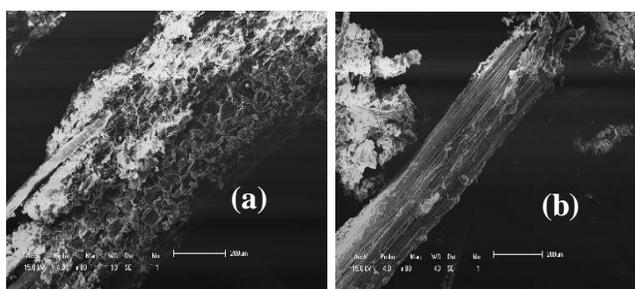


Figura 4: Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (a) fibra natural e (b) tratada. Fonte: autor (2017).

Como resultado, a fibra apresenta um menor diâmetro e maior rugosidade superficial quando comparada à fibra natural.

Quando soluções alcalinas são utilizadas para a extração de hemicelulose e lignina, provoca modificações na composição química das fibras, favorecendo o surgimento de uma parede celular estratificada, ou seja, com várias camadas. Isso leva a melhoras na adesão da fibra-matriz quando são usadas como reforço em compósitos poliméricos [23].

3.3 Difração de Raios-X – DRX

O componente lignocelulósico responsável pela característica cristalina das fibras vegetais é a celulose. A hemicelulose e a lignina constituem a porção amorfa. [20,26] O pré-tratamento químico alcalino realizado nas fibras favorece a um aumento no teor de celulose, pois o mesmo remove parcialmente lignina e hemicelulose da superfície da fibra. A Fibra de babaçu natural e mercerizada (Figura 5) foram analisadas.

O difratograma revela a presença dos picos referentes aos planos cristalográficos da fibra do babaçu nos seguintes ângulos de Bragg (2θ): 15,6 (plano 101); 22,3 (plano 002) e 34,4 (plano 040), mostrando as regiões amorfas e cristalinas da fibra. A reflexão (002) é referente aos anéis glicosídicos e indica um aumento no alinhamento dos anéis glicosídicos e um aumento na porção cristalina, por isso aumenta a sua intensidade.

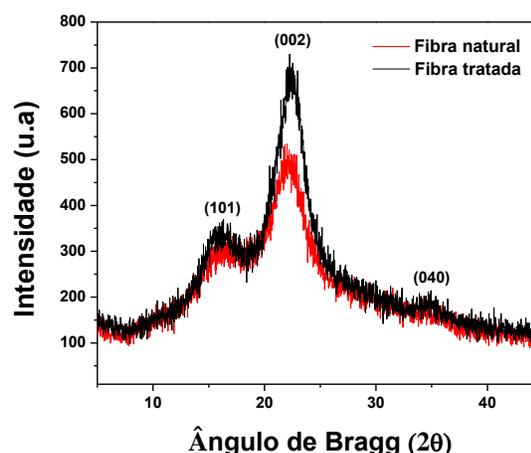


Figura 5: Difração de Raios-X das amostras de fibra de babaçu natural e mercerizada. Fonte: autor (2017).

As reflexões nos planos 101 e 040 estão associadas às regiões amorfas da fibra, ou seja, a presença de lignina e hemicelulose. O tratamento químico das fibras favoreceu a um aumento do índice de cristalinidade das fibras com a remoção parcial de lignina e hemicelulose [7,20,23]. Esses resultados também corroboram com as análises térmicas apresentadas na Figura 6.

3.4 Termogravimetria- TG/DTG

Esta técnica foi utilizada para avaliar a perda de massa dos materiais em cada intervalo de temperatura programada. É possível observar que ocorre perda de massa, (Figuras 6 (a) e (b)) correspondente à perda de água entre as temperaturas de 30 - 200 °C. É possível observar que ocorre uma maior perda de massa na fibra natural nesta temperatura, devido à maior capacidade que a fibra natural tem de absorver umidade (Tabela 1) [5,9,10]. A temperatura de 200 - 350 °C, a perda de massa é associada à

formação de produtos voláteis da degradação que surgem quando ocorre a cisão de cadeia e transferência intermolecular envolvendo hidrogênio terciário que surgem a partir da hemicelulose, celulose e lignina [27,28].

A degradação térmica ocorre em duas etapas, na primeira etapa, ocorre a degradação da hemicelulose com o aparecimento de um pequeno ombro em torno de 250 °C na fibra tratada, quanto à fibra natural esse pico é mais observável. O maior pico de decomposição está entre 200 - 350 °C é atribuída à decomposição da celulose com pico máximo em torno de 300 °C, a degradação principal da celulose aparece no pico correspondente à taxa máxima de decomposição [23,26].

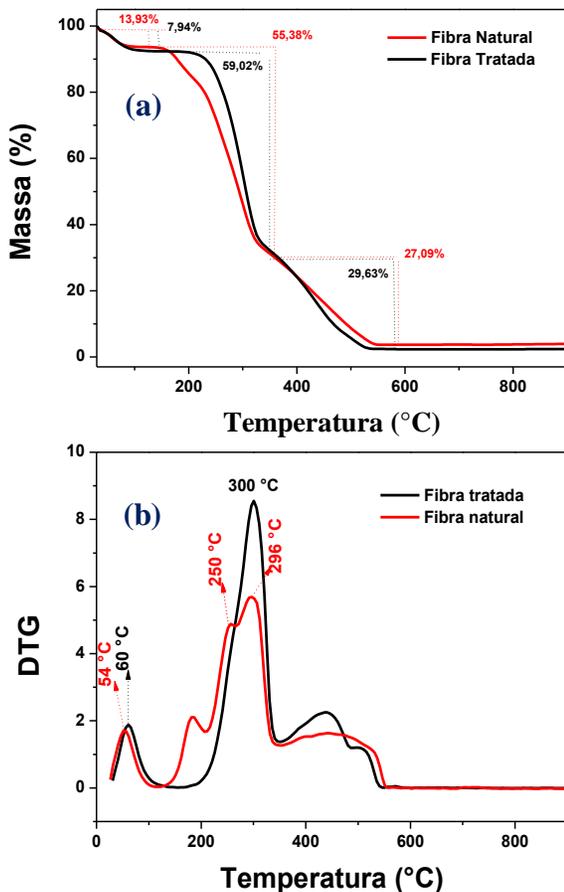


Figura 6: Fibra do babaçu natural e tratada (a) TG e (b) DTG.

Fonte: autor (2017).

Em temperaturas mais elevadas, ocorre a degradação da celulose se comparada com a degradação da hemicelulose, essa diferença de

temperatura é devido a celulose ser mais cristalina que a hemicelulose, o que confere uma maior resistência e estabilidade à degradação térmica [7,20], sendo, portanto a celulose, o componente responsável pela estabilidade térmica da fibra, devido às suas ligações de hidrogênio.

Como as regiões menos ordenadas da fibra aumentam, a mobilidade da cadeia celulósica diminui o que provoca o estiramento e o enfraquecimento das ligações de hidrogênio existentes, diminuindo a estabilidade. A degradação da lignina ocorre entre 365 a 600 °C. [28]

Após essa temperatura, restam apenas cinzas oriundas da condensação dos componentes da lignina e de sua aromatização em atmosfera de nitrogênio a altas temperaturas, além da presença de conteúdo de cinzas na fibra, de acordo com a literatura. Foi possível observar que com o tratamento químico superficial da fibra, a degradação térmica da celulose ocorreu em temperaturas mais elevadas, o que garante uma maior estabilidade térmica para a fibra após a mercerização. Esses resultados corroboram com os difratogramas apresentados (Figura 5), pois o aumento no alinhamento dos anéis glicosídicos promove uma maior temperatura de degradação térmica para as amostras estudadas.

Tabela 1: Resumo da degradação térmica das amostras estudadas.

Amostras	Perda de Massa (%)			Cinzas (%)
	30-200 (°C)	200-300 (°C)	300-600 (°C)	
Fibra natural	13,93	55,38	27,01	5,1
Fibra tratada	7,94	59,02	29,63	9,4

Fonte: autor (2017).

3.5 Teor de extrativos, lignina, celulose, hemicelulose e holocelulose

Os resultados para os teores de extrativos, lignina, celulose, holocelulose e lignina são mostrados na Tabela 2. Os resultados mostram que a fibra de babaçu apresentou um percentual de extrativos de 8,9%. Satyanarayana e seus colaboradores [24] mostraram percentuais entre 2,5% a 4% para fibras de curauá e abacaxi comercial. Sena Neto e colaboradores [30]

mostraram valores entre 4% e 9% para fibras de abacaxi. Quando comparado a outras metodologias de extração de extrativos, esse valor obtido para a fibra de babaçu indica que foi eficiente o método de extração utilizado neste trabalho.

Tabela 2: Resultados dos teores de extrativos, lignina, celulose e hemicelulose da fibra de babaçu.

Extrativos (%)	Lignina		
	Solúvel	Insolúvel	Total
8,5	1,4 %	20,5 %	21,9±1
	Holocelulose		
	Celulose	Hemicelulose	Total
	65,5 %	8,9 %	74,5 ±2

Fonte: autor (2017).

Os valores obtidos para o teor de lignina solúvel foi 1,4% e para a lignina total foi 21,9%. Estes valores estão de acordo com outros valores encontrados na literatura, Satyanarayana [24] obteve valores entre 7,5% a 12%, Sena Neto [30] apresentou valores de 25% a 52%, Martin A. R. [26] mostrou valores de 8,1% a 11,4% para a fibra de sisal. Os valores para a celulose, a hemicelulose e a holocelulose foram, respectivamente, 65,5% e 8,9%. Esses valores também estão de acordo com os valores obtidos por Sena R. (66% a 76% para a celulose e de 7% a 16% para hemicelulose-fibra de abacaxi) [30] e por Martin A. R. (77,3% a 84,4% para a celulose e de 6,9% a 10,3% para a hemicelulose – fibra de sisal). [26] A holocelulose total foi de 74,5% para a fibra de babaçu.

Os resultados obtidos sugerem que as fibras do babaçu por pré-tratamento alcalino (NaOH) têm potencial para adsorção de corantes, aplicações da celulose (papel e produtos derivados) e aplicação na produção de compósitos poliméricos. E ainda, por apresentarem vantagens como SEREM biodegradáveis e renováveis, essas fibras podem produzir materiais com propriedades melhoradas a baixo custo.

4 Conclusões

O pré-tratamento químico alcalino (NaOH) utilizado neste trabalho mostrou-se eficiente removendo parcialmente os componentes

químicos da fibra do caule de babaçu produzindo fibras de alta qualidade.

Os difratogramas revelaram os planos cristalográficos da fibra em um maior grau de ordenação dos anéis glicosídicos, ou seja, uma maior propriedade cristalinidade da fibra com o tratamento químico. Esses resultados foram também observados por FTIR com uma diminuição dos picos associados à porção amorfa da fibra. A estabilidade térmica também foi observada. A degradação térmica ocorreu com uma maior perda de massa e uma maior temperatura de degradação para os componentes presentes na fibra.

O método utilizado para a remoção de extrativos mostrou-se eficiente, com remoção de 8% desses componentes, um valor igual ou superior aos valores mostrados na literatura. O teor de celulose encontrado com o método proposto foi satisfatório, revelando uma porcentagem de 65,5% na fibra. Esses resultados mostram uma elevada quantidade de material cristalino, o que mostra a qualidade da fibra usada neste trabalho.

Referências

- [1] KALIA, S.; KAITH, B. S.; KAUR, I. Cellulose fibers: Bio- and nano- polymer composites. Green Chemistry and Technology, 2011.
- [2] BARRETO, A. C. H.; ROSA, D.S.; FECHINE, P. B. A.; MAZZETTO, S. E. Properties of sisal fibers treated by alkali solution and their application into cardanol-based biocomposites. Composites: Part A, v. 42, p. 492-500, 2011.
- [3] SILVA, R.; HARAGUCHI, S. K.; MUNIZ, E. C.; RUBIRA, A. F. Aplicação de fibras lignocelulósicas na química de polímeros em compósitos. Química Nova, v. 32, p. 661-671, 2009.
- [4] 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, v. 43, p. 2883-2892, 2012.
- [5] KALIA, S.; KAITH, B. S.; KAUR, I. Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer

composites – a review. *Polymer Engineering and Science*, v. 49, p. 1253-1272, 2009.

[6] ARAÚJO, J. R.; WALDMAN, W. R.; De PAOLI, M. A. Thermal properties of high density polyethylene composites with natural fibres: Coupling agent effect. *Polymer Degradation and Stability*, v. 93, p. 1770-1775, 2008.

[7] PAIVA, E. P.; LIMA, M. S.; PAIXÃO, J. A. Pectina: propriedades químicas e importância sobre a estrutura da parede celular de frutos durante o processo de maturação. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, v. 10, p. 196-211, 2009.

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

[9] TABARSA, T.; ASHORI, A.; GOLAMZADEH, M. Evaluation of surface roughness and mechanical properties of particleboard panels made from bagasse. *Composites Part B: Engineering*, v. 42, p. 1330-1335, 2011.

[10] ASHORI, A.; ORNELAS, M.; SHESHMANI, S.; CORDEIRO, N. Influence of mild alkaline treatment on the cellulosic surfaces active sites. *Carbohydrate Polymers*, v. 88, p.1293-1298, 2012.

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

[12] SANTOS, R. S.; SOUZA, A. A.; PAOLI, M.; SOUSA, C. M. L. Cardanol-formaldehyde thermoset composites reinforced with buriti fibers: Preparation and characterization. *Composites: Part A Applied Science and Manufacturing*, v. 41, p. 1123-1129, 2010.

[13] RAY, D.; SARKAR, B. K.; RANA, A. K.; BOSE, N. R. Effect of alkali treated jute fibres on composite properties. *Bulletin of Materials Science Bull*, v.24, p.129-135, 2001.

[14] AJI, I. S.; SAPUAN, S. M.; ZAINUDIN, E. S.; ABDAN, K. Kenaf fiber as reinforcement for polymeric composites: a review. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, v. 4, p. 239-248, 2009.

[15] FRANCO, F. J. P.; Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.

[16] CARRAZA, L. R.; ÁVILA, C. J. C.; SILVA, M. L. Aproveitamento integral do fruto e da folha do babaçu. Manual tecnológico. Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN), 2012.

[17] MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M. Procedimentos para análise lignocelulósca. Embrapa Algodão, 2010.

[18] SANCHEZ, E. M. S.; CAVANI, C. S.; Leal, C. V.; SANCHEZ, C. G. Compósito de Resina de Poliéster Insaturado com Bagaço de Cana-de-Açúcar: Influência do Tratamento das Fibras nas Propriedades. *Polímeros*, v. 3, p. 194-200, 2010.

[19] MATUANA, L. M.; JIN, S.; STARK, N. M. Ultraviolet weathering of HDPE/wood-flour composites coextruded with a clear HDPE cap layer. *Polymer Degradation and Stability*, v.96, p. 97-106, 2011.

[20] PANDEY, J. K.; KIM, C. S.; CHU, W. S.; CHOI, W. Y.; AHN, S. H.; LEE, C. S. Preparation and structural evaluation of nano reinforced composites from cellulose whiskers of grass and biodegradable polymer matrix. *Journal of Composites Materials*, v. 46, p. 653-663, 2012.

[21] NADIRAH, W. O. W.; JAWAID, M.; AL MASRI, A. A.; KHALIL, H. P. S. A.; SUHAILY, S. S.; MOHAMED, A. R. Cell wall morphology, chemical and thermal analysis of cultivated pineapple leaf fibers for industrial applications. *Journal of Polymers and the Environment*, v.20, p. 404-411, 2012.

[22] POLETTO, M.; ZATTERA, A. J.; FORTE, M. M. C.; SANTANA, R. M. C. Thermal decomposition of wood: Influence of wood components and cellulose crystallite size. *Bioresource Technology*, v.109, p.148-153, 2012.

[23] MIRANDA, C. S.; FIUZA, R. P.; CARVALHO, R. F.; JOSÉ, N. M. Efeito dos tratamentos superficiais nas propriedades do bagaço da fibra de piaçava *Attalea funifera* Martiu. *Química Nova*, v. 38, p. 161- 165, 2015.

[24] 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*, v.38, p. 1694-1709, 2007.

[25] EL-SHEKEIL, Y. A.; SAPUAN, S. M.; KHALINA, A.; ZAINUDIN, E. S.; AL-SHUJA'A, O. M. Effect of alkali treatment on mechanical and thermal properties of Kenaf fiber-reinforced thermoplastic polyurethane composite. *Journal of Thermal Analysis Calorimetry*, v.109, p.1435-1443, 2012.

[26] MARTIN, A. R.; MARTINS, M. A.; MATTOSO, L. H. C.; SILVA, O. R. R. F. Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade *Agave sisalana*. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.19, p.40-46, 2009.

[27] LAFIA-ARAGA, R. A. A.; HASSAN, A.; YAHYA, R.; RAHMAN, N. A.; HORNSBY, P. R.; HEIDARIAN, J. Thermal and mechanical properties of treated and untreated Red Balau (*Shorea dipterocarpaceae*)/LDPE composites. *Journal of Reinforced Plastic and Composites*, v. 31, p. 215-224, 2012.

[28] KIM, J. T.; NETRAVALI, A. N. Mercerization of Sisal Fibers: Effect of tension on mechanical properties of sisal fiber and fiber-reinforced composites. *Composites:Part A*, v.41, p.1245-1252, 2012.

[29] SANTOS, M. C.; Dissertação de Mestrado, Rede Temática de Engenharia de Materiais – REDEMAT, 2009.

[30] SENA, N. A. R.; ARAUJO, M. A. M.; BARBOZA, R. M. P.; FONSECA, A. S.; TONOLI, G. H. D.; SOUZA, F. V. D.; MATTOSO, L. H. C.; Marconcini, J. M. Comparative study of 12 pineapple leaf fiber varieties for use as mechanical reinforcement in polymer composites. *Industrial crops and products*, v. 64, p. 68-78, 2015.