

PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE POLPA CELULÓSICA DE BAMBU
Guadua weberbaueri: TECNOLOGIA

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF BAMBOO CELLULOSIC PULP
Guadua weberbaueri: TECHNOLOGY

Marcelo Ramon da Silva Nunes^{1,2*}, Dawson da Paixão Ramos¹
, Carlos Drumond do Nascimento Morais^{1,3}, Antonia Eliane Costa Sena¹, Anderson Luis Ramos¹, Anselmo
Fortunato Ruiz Rodriguez¹, Fernando Sérgio Escócio Drummond Viana Faria¹

1. Universidade Federal do Acre/Laboratório de Nanobiotecnologia da Bionorte

2. Instituto Federal do Acre - IFAC

3. Instituto Federal de Rondônia - IFRO

* Autor correspondente: e-mail marcelo.nunes@ifac.edu.br

RESUMO

A adição de fibras vegetais em compósitos podem otimizar as propriedades de muitos materiais. Assim, objetivou-se preparar e caracterizar polpa de celulose a partir de bambu. Para tanto, foi utilizado dois diferentes métodos de deslignificação do bambu, seguidos por branqueamento. Método I: o bambu foi lavado com solução de NaOH a 5% por 2h, à temperatura ambiente e agitação. No II, o bambu foi lavado com NaOH a 2% por 4h à 80°C e agitação. Após, foi realizado o branqueamento da polpa com H₂O₂ a 24% (v/v) e NaOH a 4% (m/m), na proporção de 1g/20mL, por 2h a 50°C e agitação. Posteriormente, as amostras foram submetidas a análises: teor de celulose; espectroscopia FTIR; DRX e termogravimétrica. O teor remanescente de lignina e hemicelulose nas amostras do método I, foi 11% e 17%, respectivamente e 6% e 12% (II). O branqueamento das amostras (I) aumentaram o teor de celulose (88%) e da cristalinidade (79%). A perda de massa média foi de 80 %, em um pico médio de 356°C.

Palavras-chave: Celulose. Deslignificação. Branqueamento. Reforço de Compósito.

ABSTRACT

The addition of plant fibers in composites can optimize the properties of many materials. Thus, the objective was to prepare and characterize cellulose pulp from bamboo. For this, two different methods of delignification bamboo were used, followed by bleaching. Method I: the bamboo was washed with 5% NaOH solution for 2 hours, at room temperature and protected. In II, the bamboo was washed with 2% NaOH for 4h at 80°C and prepared. Afterwards, the pulp was bleached with H₂O₂ at 24% (v / v) and NaOH at 4% (m / m), in the proportion of 1g / 20mL, for 2h at 50°C and rest. Subsequently, as they were subjected to analysis: cellulose content; FTIR spectroscopy; XRD and thermogravimetric. The remaining content of lignin and hemicellulose in method I, was 11% and 17%, respectively and 6% and 12% (II). The bleaching of (I) increased the cellulose content (88%) and the crystallinity (79%). The average loss of mass was 80%, at an average peak of 356°C.

Key words: Cellulose. Delignification. Bleaching. Composite Reinforcement.

1. INTRODUÇÃO

A grande maioria dos produtos industrializados tinha como matéria prima recursos naturais, perdurando assim, até o século 19, e desde então, até meados da década de 70, o petróleo e seus derivados se tornaram protagonistas como matéria prima para tais produtos. Cronologicamente, até os dias atuais, os esforços tem se concentrado em substituir o petróleo e seus derivados por produtos naturais e sustentáveis [1].

As fibras vegetais são utilizadas com o objetivo de melhorar as propriedades de um determinado compósito, principalmente as mecânicas [2]. As adições de fibras em compósitos frágeis aumentam seu módulo de ruptura e resistência à tração significativamente, diminuindo a fissuração da matriz reforçada pelas fibras e otimizando seu uso como materiais de construção [3-4].

Antes da aplicação das fibras celulósicas como reforço de compósitos, um processo muito importante deve ser realizado, a remoção parcial ou completa da hemicelulose, lignina e extrativos [1,5], tornando assim as fibras celulósicas mais acessíveis [6], e diminuindo a incompatibilidade química entre a matriz a ser reforçada e as fibras vegetais [7,8]. Esse processo de individualização das fibras celulósicas, com a remoção dos componentes amorfos, denomina-se polpação, onde as características, tipos de aplicação e qualidade da polpa depende do tipo de processo de polpação utilizado [9].

Dentre os processos de polpação, o mais comum é o Kraft, que cozinha a fonte de fibras celulósicas em solução alcalina de hidróxido de sódio ou sulfeto de sódio, gerando fibras branqueáveis e de boa resistência mecânica, possuindo rendimento de produção de polpa na ordem de 50% a 60% do total de material utilizado [9].

Na primeira etapa da polpação, a lignina é parcialmente removida. Como complemento da primeira etapa, é realizado o branqueamento da polpa, que além de promover a alvura das fibras [10], já que em geral a polpa deslignificada possui coloração castanho escura, também remove a lignina e hemicelulose residuais não eliminados na primeira etapa. Através deste processo, os componentes amorfos da fibra celulósica são removidos, aumentando o valor agregado do produto pela sua alvura [11].

No branqueamento podem ser utilizados diversos reagentes como peróxido de hidrogênio, ácido acético, hipoclorito de sódio, hidróxido de sódio (também utilizado na primeira etapa) e ainda possíveis combinações entre os mesmos [6].

Alguns tratamentos químicos auxiliares podem ser realizados objetivando a melhoria de qualidades da fibra vegetal, como o uso de silanos para redução da absorção de água pelas fibras [12-13].

As fibras vegetais possuem boas propriedades mecânicas como alta resistência à tração, baixa densidade, baixo coeficiente de expansão térmica e baixo módulo de elasticidade, se configurando como ótima opção para reforço de compósitos [14-15]. As propriedades de algumas fibras vegetais e sintéticas encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Propriedades físicas e mecânicas de algumas fibras vegetais e sintéticas.

Fibras	Peso específico (kg/m³)	Absorção de água (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Sisal¹	1370	110	347-378	15,2
Côco¹	1177	93,8	95-118	2,8
Bambu¹	1158	145	73-505	10-40
Cânhamo¹	1500	85-105	900	34
Congo Jute¹	1409	182	300-500	10-40
Banana¹	1031	407	384	20-51
Piaçava¹	1054	34-108	143	5,6
Dendezeiro²	1300-1450	60-84	70-170	3,5-4
Polipropileno¹	913	-	250	2,0
PVA³	1300	-	900	23
Aço⁴	7800	-	4100	210
Carbono⁴	1800	-	1500-5500	150-500

Fontes: ¹ARSÈNE [16]; ²KRIKER [17]; ³PASSUELO [18]; ⁴MOON [5].

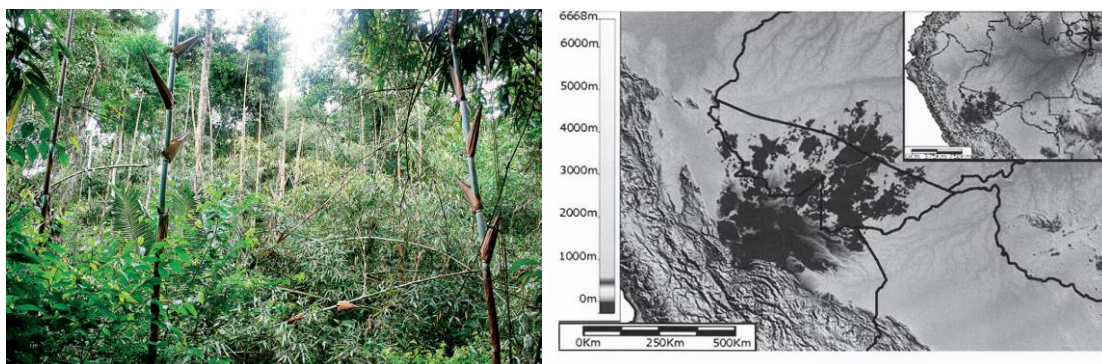
Alguns estudos foram realizados com fibras naturais para reforço de matrizes cimentícias, como o bambu [19-24], como o sisal [25-27] o curauá [2,28], o côco [29-35], e a juta [36]. Os resultados mostraram a viabilidade do uso de fibras naturais como reforço em compósitos cimentícios, apresentando ganhos significativos de resistência mecânica dos compósitos com a adição de fibras vegetais.

O bambu é uma gramínea, da família *Poaceae*, existindo aproximadamente 50 gêneros e 1300 espécies pelo mundo todo, ocorrendo nos trópicos e em regiões temperadas, dentro das latitudes 46° N até 47° S, em altitudes que variam do nível do mar até 4.300 m [37].

Na Amazônia sul-ocidental existem grandes áreas de floresta nativa com predominância de bambu no sub-bosque (figura 1a), principalmente pelo gênero *Guadua*, ocupando uma área

de aproximadamente 161.500 km² (Fig 1b) [38]. As espécies de bambu mais frequentes na Amazônia são *Guadua sarcocarpa* e *G. weberbaueri* Pilg. [39].

Figura 1. a) Interior de uma floresta com o sub-bosque dominado pelo bambu (*Guadua spp.*) no Parque Estadual Chandless, Acre. Figura 1b) Localização e distribuição das florestas com bambu (manchas escuras) no sudoeste da Amazônia.



Fonte 1a: BIANCHINI [40].

Fonte 1b: FERREIRA [41].

Vários estudos realizados mostraram que o Brasil possui a maior diversidade de espécies de bambu, com aproximadamente 137 espécies e 17 gêneros em todo território nacional [42], e uma das maiores reservas do planeta, ocorrendo em sua maioria na Amazônia sul-ocidental [43].

No estado do Acre, um levantamento mostrou que existem 10.969.410 hectares de florestas com predominância de bambu no sub-bosque, sendo a área de bambu 4.563.688 ha, ou 41,60 % do total dessas florestas, sendo Feijó o município com maior quantidade de bambu (1.122.460 hectares) e Plácido de Castro com a menor quantidade (439 hectares), e a capital Rio Branco tem a 6^a maior quantidade de bambu (296.215 hectares) [44].

Por sua abundância, ótimas qualidades e variadas possibilidades de uso, o bambu é uma matéria-prima com grande potencial econômico de uso, oportunizando assim a exploração econômica da biodiversidade [45].

O bambu tem se mostrado uma fibra vegetal muito promissora tanto para o uso de sua polpa como para uso como elemento de reforço em compósitos, possuindo o crescimento mais rápido entre as tipologias lignocelulósicas, sendo um ótimo substituto para a madeira, que é a mais tradicional fonte de celulose, possuindo abundância em todo planeta e custo baixo quando comparado a outras fontes de celulose, podendo ser utilizado em materiais de construção civil, como compósitos à base de cimento Portland [46-47].

Assim, o objetivo deste trabalho foi testar variados métodos de polpação do bambu *Guadua weberbaueri*, e através de sua caracterização, definir a melhor polpa produzida dentre os métodos testados, para aplicação como reforço de compósitos, visando a destinação industrial para essa fonte de fibras vegetais abundante que é o bambu nativo.

2. FUNDAMENTAÇÃO E PERCURSO METODOLOGICO

Produção da polpa celulósica

Para a produção da polpa, foram utilizados dois diferentes métodos de deslignificação, seguidos do mesmo tipo de branqueamento.

A deslignificação do bambu triturado foi feita com solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 5%, na proporção de 30 g de bambu para 600 mL de solução, por 2 h à temperatura ambiente e agitação constante. Em seguida, foi realizado o branqueamento da polpa com peróxido de hidrogênio (H₂O₂) a 24% (v/v) e NaOH a 4% (m/m) (1:1), na proporção de 1 g de fibra para 20 mL da solução, por 2 h a 50°C e agitação constante. Foram produzidas polpas com 1, 2 e 3 branqueamentos consecutivos [48].

No segundo método a deslignificação do bambu triturado foi feita com solução de NaOH a 2%, na proporção de 30 g de bambu para 1200 mL de solução, por 4 h à 80 °C e agitação constante, por 4 vezes consecutivos [49]. Em seguida, foi realizado o branqueamento da com H₂O₂ a 24% (v/v) e NaOH a 4% (m/m) (1:1), na proporção de 1 g de fibra para 20 mL da solução, por 2 h a 50°C e agitação constante branqueamentos [48]. Foram produzidas polpas com 1, 2 e 3 branqueamentos.

Análise do teor de celulose

A análise do teor de celulose foi determinada no laboratório de bromatologia da EMBRAPA Acre, a partir do método FDN/FDA com ácido sulfúrico a 72%, proposto por Van Soest [50]. Todos os resultados estão corrigidos com base na matéria seca (MS) à 105 °C. Esse método considera que os constituintes das plantas podem ser divididos em conteúdo celular (lipídios, compostos nitrogenados, gorduras, amido e outros compostos solúveis em água) e parede celular (proteína insolúvel, hemicelulose, celulose e lignina). Baseia-se na análise de fibra, a qual é subdividida em: Fibra em Detergente Neutro (FDN): A célula vegetal é revestida por uma parede celular rígida composta basicamente por celulose, mas em células adultas esta

parede sofrer um espessamento que pode formar uma segunda parede composta por lignina e hemicelulose.

O método de Van Soest consiste, inicialmente, em separar o conteúdo celular da parede celular. Isto é feito aquecendo-se parte da amostra em solução de detergente neutro. O conteúdo celular solubiliza-se no detergente, enquanto a parede celular não, podendo ser separada por filtragem. As frações resultantes são denominadas de solúveis em detergente neutro, e são compostas por proteína, nitrogênio não protéico (NNP), lipídeos, pigmentos, açúcares, ácidos orgânicos e pectina, e FDN (constituída basicamente por celulose), N ligado à fibra, hemicelulose e lignina.

Fibra em detergente ácido (FDA): Quando se utiliza solução de detergente ácido a celulose e a hemicelulose solubilizam-se e a lignina ligada à celulose (lignocelulose) que é separada por filtragem. As duas frações são denominadas, respectivamente, de solúveis em detergente ácido e FDA. A porção solúvel é integralmente aproveitada por ruminantes ou outros herbívoros e parcialmente por monogástricos não herbívoros. A FDA é a porção menos digestível da parede celular das forrageiras pelos microrganismos do rúmen, constituída quase na sua totalidade por lignocelulose, ou seja, lignina e celulose. Logo, a proporção de hemicelulose é determinada pela diferença entre FDN e FDA. A celulose contida na fração FDA, que é parte solúvel em detergente ácido, quando levada a forno mufla, é totalmente queimada. Com isso, podemos, também por diferença entre os pesos, obter a fração de celulose da amostra.

Determinação dos grupos funcionais e confirmação da redução do teor de lignina e hemicelulose - FTIR

Os espectros de absorção na região do infravermelho foram obtidos na infraestrutura Instituto de Criminalista da Polícia Civil do Acre, em equipamento Perkim Elmer Spectrum RX I. Foi utilizado KBr previamente seco na preparação das pastilhas, que foram analisadas com NO NNO M mínimo16 varreduras, na faixa de 400 a 4000cm⁻¹. mínimo16 varreduras, na faixa de 400 a 4000cm⁻¹no mínimo16 varreduras, na faixa de 400 a 4000cm.

Determinação da cristalinidade - DRX

A determinação da cristalinidade da celulose e das polpas produzidas foi realizada no Departamento de Geociência - DEGEO da Universidade Federal do Amazonas - UFAM. O equipamento utilizado foi o Difratômetro de Raios x, Marca Shimadzu, Modelo XRD 6000 Tubo de Raio X com radiação Cu K α com comprimento de onda de 0,15418 nm. A configuração adotada para a análise foi o monocromador com fendas (1, 1, 0,3), operado a 40 kV com uma corrente de 30 mA, a uma velocidade de 2,000 deg/min.

Análise termogravimétrica - TGA

As análises térmicas foram realizadas no complexo BIONORTE da UFAC em um calorímetro Netzsch modelo Jupiter STA449 – F3 em uma atmosfera de nitrogênio com fluxo de 20.0 ml min⁻¹, e taxa de aquecimento de 10.0 °C min⁻¹ até a temperatura final de 600.0 °C. A massa da amostra analisada foi de 20.0 mg, em cadinhos de óxido de alumina.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise do teor de celulose pelo método FDN/FDA, foi constatado um teor significativo maior de hemicelulose e lignina remanescente nas amostras, que foram lavadas apenas uma vez (método I), quando comparada aquela lavada quatro vezes (método II). Os valores apresentados foram 11,60% e 17,92% de hemicelulose e lignina, respectivamente, para o método I. Enquanto que o método II, apresentou 6,26% e 12,18%, respectivamente de teores de lignina e hemicelulose, como mostrado na tabela abaixo.

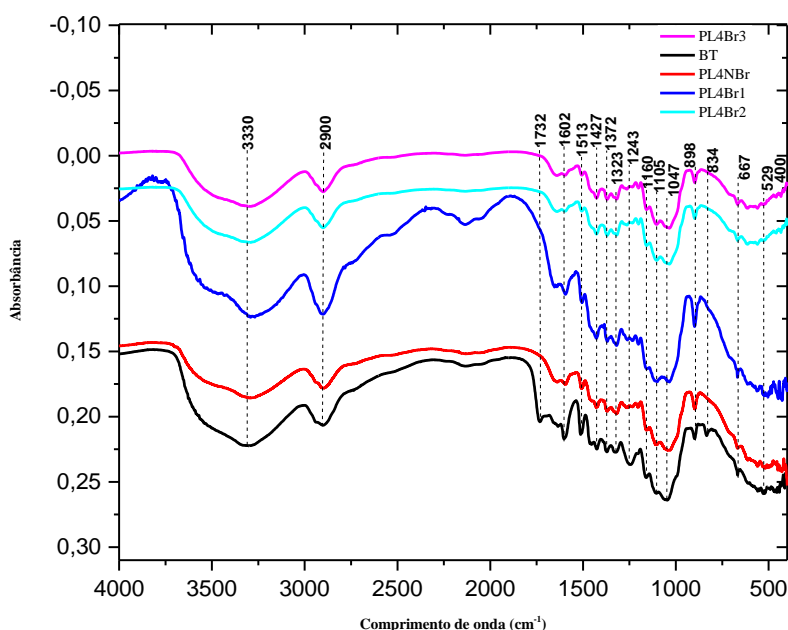
Amostras	Composição da Parede Celular (%)					
	MS	FDN	FDA	Hemicelulose	Lignina	Celulose
PCBL1x	94,41	96,77	85,17	11,60	17,92	63,26
PCBL4x	94,00	99,70	93,45	6,26	12,18	78,88
PCBL4xBR1x	94,42	99,75	93,62	6,13	8,59	84,83
PCBL4xBR2x	93,09	99,85	92,52	7,33	4,17	86,08
PCBL4xBR3x	93,94	99,55	93,96	5,60	4,25	88,33

A redução nos teores dos compostos amorfos observados entre os dois métodos de lavagem, resultou em um expressivo rendimento da polpa de celulose entre os dois métodos de lavagem, que foi de 63,26 % para o método I e 78,88 % para o segundo método. Com isso, foi definido que o processo de branqueamento seria realizado apenas para essa última, descartando assim, o método que envolve apenas uma lavagem. A tabela 2 mostra, ainda, que o teor de

celulose aumentou conforme aumentava-se o número de vezes que a amostra passou por processo de branqueamento. A amostra PCBL4xBr1x, que foi branqueada apenas uma vez, apresentou 84,83% de teor de celulose, enquanto que a PCBL4xBr2x (branqueada duas vezes), apresentou 86,06 % e a branqueada três vezes (PCBL4xBr3x) mostrou-se com o maior teor de celulose, 88,33 %.

A diminuição nos teores de lignina, hemicelulose e extrativos, acarretando o incremento no teor de alfa-celulose, foi comprovada através do ensaio de FTIR, que mostrou também uma diminuição na absorção máxima de água da amostra, após tratamentos realizados. A Figura 2 mostra as curvas obtidas para o bambu triturado e cada tipo de tratamento realizado. Estas curvas são resultados das vibrações correspondentes às bandas destes elementos químicos na faixa de 4.000 a 400 cm^{-1} .

Figura 2. Gráficos de FTIR para as amostras de polpa celulósicas obtidas do bambu.



O pico de 1.732 cm^{-1} , referente ao grupo acetil e carboxílicos das xilanas, desaparece com os tratamentos de polpação, confirmando a extração de lignina e extrativos da amostra. A queda dos teores de lignina, hemicelulose e de extrativos também é comprovada através da diminuição das bandas de 1602 cm^{-1} , que representa vibrações no esqueleto aromático mais estiramento C=O, indicando diminuição no teor de polioses; em 1.243 cm^{-1} , que representa deformação axial assimétrica de =C–O–C–, comum em meio onde está presente =C–O–, como em éster e éter; em 1.372 cm^{-1} , referente à vibração de deformação do grupo C–H, devido a

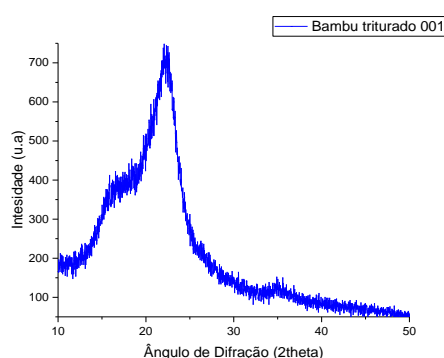
remoção de polissacarídeo de baixa massa molecular e 1.513 e 1.427 cm^{-1} , relacionadas a vibração dos grupos aromáticos de lignina, específicas dos anéis do tipo guaiacílicos.

A diminuição da banda de 3.330 cm^{-1} indica o sucesso da reação de esterificação na amostra e também na diminuição de umidade. O alargamento das bandas de 898 e 1.047 cm^{-1} indica um incremento no valor do teor de alfa-celulose, enquanto o aumento da banda de 1.160 cm^{-1} indica incorporação do grupo éster à polpa. A pequena diminuição na banda de 1.323 cm^{-1} (anel guaiacil-siringílico de lignina) ocorreu, principalmente, devido ao tratamento de mercerização. A banda de 2.900 cm^{-1} , atribuída ao estiramento vibracional simétrico e assimétrico de CH_2 e CH_3 de grupos alifáticos, se tornou menor devido à remoção da hemicelulose.

Para a determinação da cristalinidade das amostras de bambu foram usadas o métodos de SEGAL [51], onde o percentual cristalino foi determinado pela diferença da intensidade entre o pico de maior intensidade (I_{c+a}) correspondente ao pico cristalino e o de menor intensidade (I_a), característico do pico amorfo.

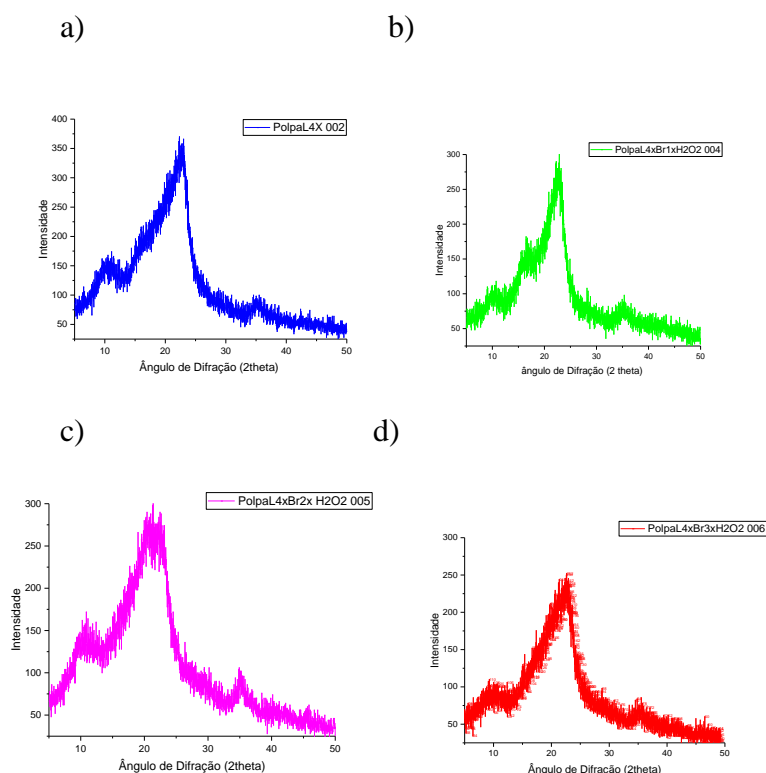
A partir da figura 3, que mostra o gráfico de DRX de uma amostra de bambu triturado sem nenhum processo de lavagem ou branqueamento, é possível observar a típica absorção das celuloses em 2θ próximo ao 23° de uma amostra completamente amorfa.

FIGURA 3. Difratoograma de Raios-x do bambu triturado.



As intensidades dos picos cristalinos e do halo amorfo das polpas, foram obtidas através dos gráficos a seguir. Pode-se observar através das figuras 4a, 4b, 4c e 4d que os gráficos da celulose de bambu lavada 4 vezes (sem nenhum processo de branqueamento) e lavadas 4 vezes seguido de branqueamento 1, 2 e 3 vezes são característicos de celulose tipo II, onde o halo amorfo e o pico cristalino ficam situados entre os ângulos $12^\circ \leq 2\theta \leq 13^\circ$ e $22^\circ \leq 2\theta \leq 23^\circ$.

Figura 4. Difratoograma de Raios-x da polpa de bambu lavada 4 vezes (a); DRX da polpa lava 4 vezes e branqueada 1 vez (b); DRX da polpa lavada 4 vezes e branqueada 2 vezes (c) e DRX da polpa lavada 4 vezes e branqueada 3 vezes (d).

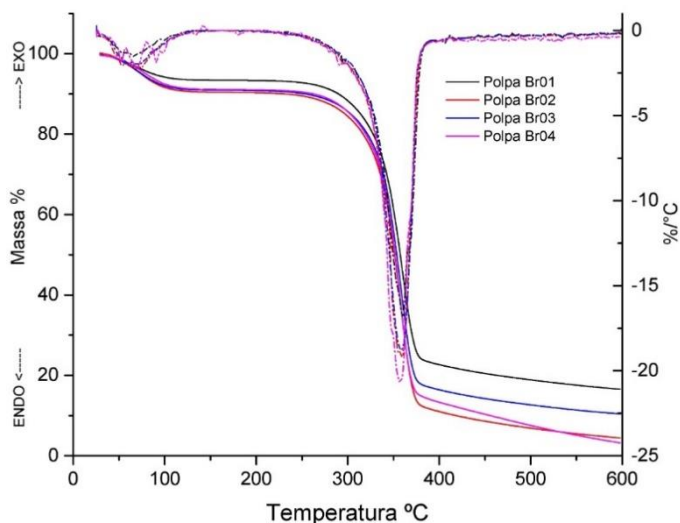


A partir da intensidade de absorção dos ângulos, foi determinado o índice cristalinidade para as amostras. A figura 4a mostra o gráfico de DRX da amostra de polpa de bambu lavada quatro vezes com hidróxido de sódio, onde foi detectado um percentual de 66,66% de índice de cristalinidade dessa amostra. Enquanto que a mesma polpa que foi branqueada uma vez com peróxido de hidrogênio (após as 4 lavagens), teve sua cristalinidade aumentada para 71,04% (figura 4b). Esse aumento se repetiu nas polpas branqueadas duas e três vezes com o mesmo reagente, 76,19% e 79,47%, figuras 4c e 4d, respectivamente. Com esse resultado, é possível endossar que o agente branqueador ataca, de forma a eliminar os grupos amorfos da celulose e que os índices de cristalinidades estão próximos aos encontrados nas polpas de Eucaliptos produzidos por LENGOWSKI [52].

Devido as indicações de sucesso da polpação descritos acima, as amostras foram submetidas a análise termogravimétrica (TGA). O primeiro evento visualizado na análise TGA

é a desidratação das amostras que ocorrem entre um intervalo médio de 43.8°C e 108.6°C, com uma perda de massa média de 6,18%.

FIGURA 5. Curvas de TGA (a) e sua derivada DTG (b)



A decomposição térmica ocorre em um pico médio de 356°C, com temperatura onset em 334.4 e endset em 362.2°C para as quatro amostras analisadas. A Perda de massa média foi de 80.51%. Na curva de DTG, fica evidente dois picos dos eventos endotérmicos que ocorreram na amostra.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises do teor de celulose pelo método FDN/FDA revelaram que o método de lavagem, quatro vezes, das amostras de bambu triturado, com solução de hidróxido de sódio foi significativamente mais eficiente para remoção dos compostos amorfos das amostras, se comparado com o método que usou apenas uma lavagem com hidróxido de sódio. Na prática o teor remanescente de lignina e hemicelulose nas amostras lavadas apenas uma vez foi 11,60% e 17,92%, respectivamente e 6,26% e 12,18%, respectivamente para a lavada quatro vezes. Essa diferença impactou o rendimento final na produção da polpa de 63,26% (lavada apenas uma) para 78,88% (lavada quatro vezes).

O branqueamento das amostras lavadas quatro vezes aumentaram o teor de celulose quanto mais se aumentava o número de vezes que a amostras foi branqueada. Assim, a amostra que foi branqueada apenas uma vez, apresentou 84,83% de teor de celulose, enquanto que a

branqueada duas vezes apresentou 86,06 % e a branqueada três vezes mostrou-se com o maior teor de celulose, 88,33 %. Em síntese, quanto maior for o número de vezes de lavagem e de branqueamento das amostras de bambu triturado, maior o teor final de celulose. Essa teoria foi endossada a partir das análises dos dados de FTIR que revelaram diminuição nos teores de lignina, hemicelulose e extrativos, acarretando o incremento no teor de alfa-celulose, que mostrou também, uma diminuição na absorção máxima de água da amostra, após tratamentos realizados.

Os difratogramas de raio-x reforçaram essa tese ao revelar os índices de cristalinidade das amostras em 66,66%, 71,04%, 76,19% e 79,47% para as amostras lavadas quatro vezes (sem branqueamento) e lavadas quatro vezes e branqueadas uma, duas e três vezes com peróxido de sódio, respectivamente.

A análise TGA revelou comportamento semelhante para todas amostras, de modo que todas elas se mostraram relativamente estáveis se comparada com outras de mesma natureza. A desidratação das amostras ocorreram em um intervalo médio de 43.8°C e 108.6°C, com uma perda de massa média de 6,18%. A decomposição térmica ocorreu em um pico médio de 356°C, com temperatura onset em 334.4 e endset em 362.2°C para as quatro amostras analisadas. A Perda de massa média foi de 80.51%. Em suma, a polpação do bambu amazônico se mostrou um recurso eficiente para produção de polpa celulósica, que pode útil para produção de compósito e substituir outras plantas que causam impactos ambientais mais severos.

REFERÊNCIAS

- [1]. GUIMARÃES JÚNIOR, M. et al. Nanofibrilas obtidas de polpas celulósicas de bambu: propriedades e aplicação como reforço em polímeros. In: DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. Rio de Janeiro: ICH, 2017. 655 p.
- [2]. BILCATI, Géssica Katalyne. **Produção de painéis de cimento portland reforçados com fibra de curauá (*Ananas erectifolius*)**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Curitiba, 2015.
- [3]. AGOPYAN, V. et al. Developments on vegetable fiber – cement based materials in São Paulo: an overview. **Cement and Concrete Composites**. v. 27, p. 527 – 536, 2005.
- [4]. LOPES, F.F.M; et al. Estudo dos efeitos da acetilação em fibras de sisal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n. 7, p. 783-788, 2010.
- [5]. MOON, R. J. et al. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. **Chem. Soc. Rev.** v. 40, p. 3941 – 3994, 2011.

- [6]. HUBBEL, C. A.; RAGAUSKAS, A. J. Effect of acid-chlorite delignification on cellulose degree of polymerization. **Bioresource Technology**. v. 101, p. 7410–7415, 2010.
- [7]. FERRAZ, J. M.; **Produção e Propriedades de Painéis de Fibra de Coco Verde (Cocos nucifera L.) em Mistura com Cimento Portland**.2011. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- [8]. MORI, F. A. et al. Estudo da compatibilidade entre a madeira e as cascas de *Eucalyptus grandis* e cimento Portland. **Ciência Florestal**. v.17, n. 3, p. 257-264, 2007.
- [9]. D’ALMEIDA, M. L. O.; PHILIPP, P. Caracterização química e físico-química de materiais lignocelulósicos. In: **Celulose e papel - Tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. São Paulo: SENAI-IPT, 1988. 20 p.
- [10]. VÁRNAI, A. et al. Restriction of the enzymatic hydrolysis of steam-pretreated spruce by lignin and hemicellulose. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 46, n. 3-4, p. 185-193, 2010.
- [11]. CHERIAN, B. M. et al. Novel Method for the Synthesis of Cellulose Nanofibril Whiskers from Banana Fibers and Characterization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 56, n. 14, p. 5617-5627, 2008.
- [12]. ABDELMOULEH, M. et al. Modification of cellulosic fibers with functionalized silanes: development of surface properties. **International Journal of Adhesion and Adhesives**. v.24, n. 1, p. 43–54, 2004.
- [13]. CASTELLANO M. et al. Modification of cellulose fibers with organosilanes: under what conditions does coupling occur? *Journal of Colloid and Interface Science*. v. 273, n. 2, p. 505-511, 2004.
- [14]. PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review. **Construction and Building Materials**. v.25, p.575-581, 2011.
- [15]. PARVEEN, S.; RANA, S.; FANGUEIRO, R. Macro and nanodimensional plant fiber reinforcements for cementitious composites. **Sustainable and Nonconventional Construction Materials Using Inorganic Bonded Fiber Composites**. p. 343 – 382, 2017.
- [16]. ARSÈNE M. A. et al. Cementitious composites reinforced with vegetable fibers. In: **Proceedings of the first Interamerican conference on non-conventional materials and technologies in the eco-construction and Infrastructure**. In: 13–16 November 2003, Joao-Pessoa Brazil, IAC-NOCMAT 2003, proceedings.
- [17]. KRIKER A. et al. Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibers in hot dry climates. **Cement & Concrete Composites**. v. 27, p. 554–648, 2005.
- [18]. PASSUELLO A. et al. Cracking behavior of concrete with shrinkage reducing admixtures and PVA fibers. **Cement & Concrete Composites**. v. 31, p. 699 – 704, 2009.
- [19]. CAMPELLO, E. F., et al. On the fatigue behavior of bamboo pulp reinforced cementitious composites. **Procedia Structural Integrity**. v. 2, p.2929-2935, 2016.

- [20]. BRESCANSIN, Janaína. **Comportamento à fratura de compósitos de matriz cimentícia reforçada com polpa de bambu**. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio) – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia. Pontifícia universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- [21]. XIE, X. et al. Flexural properties and impact behavior analysis of bamboo cellulosic fibers filled cement based composites. **Construction and Building Materials**. v. 220, p. 403 – 414, 2019.
- [22]. YAO, W.; LI, Z. Flexural behavior of bamboo–fiber-reinforced mortar laminates. **Cement and Concrete Research**. v. 33, p. 15 – 19, 2003.
- [23]. WAHYUNI, A. S. et al. The performance of concrete with rice husk ash, sea shell ash and bamboo fiber addition. **Procedia Engineering**. v. 95, p. 473-478, 2014.
- [24]. CORREIA, V. C. et al. Potential of bamboo organosolv pulp as a reinforcing element in fiber–cement materials. **Construction and Building Materials**. v. 72, p. 65 – 71, 2014.
- [25]. JOAQUIM, A. P. et al. Sisal Organosolv Pulp as Reinforcement for Cement Based Composites. **Materials Research**. v. 12, n. 3, p. 305 – 314, 2009.
- [26]. FUJIYAMA, R. T., **Argamassa de Cimento Reforçada por Fibras de Sisal: Caracterização Mecânica e Microestrutural**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1997.
- [27]. LIMA, P. R. L. et al. Caracterização mecânica de laminados cimentícios esbeltos reforçados com fibras de sisal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.11, n.6, p.644–651, 2007.
- [28]. PICANÇO, M. S; GHAVAMI, K. Comportamento à compressão de argamassas reforçadas com fibras vegetais da Amazônia. **REM - International Engineering Journal**. v. 61, n.1, p. 13 – 18, 2008
- [29]. SILVA, E. J. et al. Resistência à compressão de argamassas em função da adição de fibra de coco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.12, p.1268–1273, 2014.
- [30]. JHON, V. M. et al. Durability of slag mortar reinforced with coconut fiber. **Cement & Concrete Composites**, v.27, p.565-574, 2005.
- [31]. GUNASEKARAN, K. et al. Mechanical and bond properties of coconut shell concrete. **Construction and Building Materials**, v.25, p.92-98, 2011.
- [32]. RODRÍGUEZ, N. J. et al. Assessment of coconut fiber insulation characteristics and its use to modulate temperatures in concrete slabs with the aid of a finite element methodology. **Energy and Buildings**. v.43, p.1264-1272, 2011.
- [33]. SILVA, E. J. et al. Aplicação de fibra de coco em matrizes cimentícias. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. v.8, p.1555-1561, 2012.

- [34]. RAMLI, M. et al. Strength and durability of coconut-fiber-reinforced concrete in aggressive environments. **Construction and Building Materials**. v.38, p.554-566, 2013.
- [35]. PEREIRA, C. L. et al. Use of highly reactive rice husk ash in the production of cement matrix reinforced with green coconut fiber. **Industrial Crops and Products**. v.49, p.88-96. 2013.
- [36]. TEIXEIRA, F. P. et al. Caracterização mecânica de material compósito de matriz cimentícia reforçado com fibras de juta. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 21, 2014. Cuiabá . **Anais...** p. 2845-2852.
- [37]. ZHANG, W.P.; CLARK, L.G. Phylogeny and classification of the Bambusoideae (Poaceae). In: JACOBS, S.W.L.; EVERETT, J.E. **Grasses: systematics and evolution**. Collingwood, Victoria, Australia: CSIRO Publishing, 2000. p.35-42.
- [38]. CARVALHO, A. L. et al. Bamboo-dominated forests of the Southwest Amazon: detection, spatial extent, life cycle length and flowering waves. **Plos One**. v. 8, n. 1, p.e 54852, 2013.
- [39]. LONDOÑO, X.; PETERSON, P.M. *Guadua sarcocarpa* (Poaceae:Bambuseae), a new species of Amazonian bamboo with fleshy fruits. **Syst. Bot.**, v.16, p. 630-638, 1991.
- [40]. BIANCHINI, M. C. 2005. **Florestas dominadas por bambu (gênero *Guadua*) no sudoeste da Amazônia: extensão, comportamento espectral e associação com o relevo**. 88f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade do Amazonas, Manaus, 2005.
- [41]. FERREIRA, E. J. L. O bambu é um desafio para a conservação e o manejo de florestas no sudoeste da Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 66, n. 3, p. 46-51, 2014 .
- [42]. JUDZIEWICZ, E.J. et al. **American bamboos**. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press, 1999. 392 p.
- [43]. MIRANDA, E. M. et al. Estrutura populacional e o potencial de uso de *Guadua* cf. *superba* na região do Alto Acre. In: DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. Rio de Janeiro: ICH, 2017. 655 p.
- [44]. CARMO, L. F. Z. et al. Ocorrência, biomassa, perdas e exploração de bambu em florestas da Amazônia no Acre, Brasil. In: DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. Rio de Janeiro: ICH, 2017. 655 p.
- [45]. AFONSO, D. G. 2011. **Bambu nativo (*Guadua* spp.): alternativa de desenvolvimento econômico e sustentável para o Estado do Acre**. 49 f. Trabalho de conclusão de curso de pós-graduação (Pós-Graduação em Gestão da Indústria Madeireira) - Departamento de Economia Rural e Extensão, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.
- [46]. COUTTS, R. S. P. Autoclaved bamboo pulp fiber reinforced cement. **Cement and Concrete Composites**. v. 17, p. 99–106, 1995.

- [47]. LIMA, H. et al. Durability analysis of bamboo as concrete reinforcement. **Materials and Structures**. v. 41, n. 5, p. 981–989, 2008.
- [48]. CORDEIRO, E. M. S. et al. Extração e caracterização de nanocelulose de fibras do pseudocaule da bananeira. In: Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação, 5, 2014. Maceió . **Anais...** p. 1-8.
- [49]. MACHADO, B. A. S. et al. Obtenção de nanocelulose da fibra de coco verde e incorporação em filmes Biodegradáveis de amido plastificados com glicerol. **Quim. Nova**. v.37, p. 1275-1282, 2014.
- [50]. VAN SOEST, P. V.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of dairy science**, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.
- [51]. SEGAL, L.; CREELY, J.J.; MARTIN, A.E.; CONRAD, SEGAL, L.; CREELY, J.J.; MARTIN, A.E.; CONRAD, C.M. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. *Textile Research Journal*, v.29, n.10, p.786-794, 1959.
- [52]. LENGOWSKI, E. C. CARACTERIZAÇÃO E PREDIÇÃO DA CRISTALINIDADE DE CELULOSE ATRAVÉS DE ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO E ANÁLISE MULTIVARIADA. 2012. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.