

INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE UMA FIBRA NATURAL LIGNOCELULÓSICA: O CURAUÁ*

Anderson Oliveira da Silva¹
Karollyne Gomes de Castro Monsores²
Suzane de Sant' Ana Oliveira³
Ricardo Pondé Weber⁴
Sérgio Neves Monteiro⁵

Resumo

Devido à existência de poucas informações voltadas à degradação de fibras naturais lignocelulósicas por radiação ultravioleta, este estudo avaliou as mudanças estruturais e físico-químicas da fibra de curauá após exposição a diferentes tempos de radiação UV-B. As fibras foram avaliadas por meio das análises de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), por análise termogravimétrica (TGA) e por microscopia eletrônica de varredura (MEV), antes e após à irradiação nos tempos estabelecidos. Por meio da análise dos resultados, foi possível observar que a degradação por ultravioleta promoveu a remoção da matriz constituída de lignina, à medida em que se aumentou os tempos de radiação, promovendo o envelhecimento precoce da fibra de curauá.

Palavras-chave: FNLs; Curauá; Degradação; Radiação ultravioleta.

INFLUENCE OF ULTRAVIOLET RADIATION IN THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF A NATURAL LIGNOCELLULOSE FIBER: CURAUÁ

Abstract

Due to the existence of limited information on the degradation of natural lignocellulosic fibers by ultraviolet radiation, this study evaluated the structural and physicochemical changes of curauá fiber after exposure to different times of UV-B radiation. The fibers were evaluated by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), by thermogravimetric analysis (TGA) and by scanning electron microscopy (SEM), before and after irradiation at the established times. Through the analysis of the results, it was possible to observe that the degradation by ultraviolet promoted the removal of the lignin matrix, as the radiation times were increased, promoting the early aging of the curauá fiber.

Keywords: FNLs; Curauá; Degradation; Ultraviolet radiation.

¹ *Químico, doutorando em Ciência dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ - Brasil.*

² *Tecnóloga em Polímeros, doutoranda em Ciências dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ – Brasil.*

³ *Tecnóloga em Processos Metalúrgicos, doutoranda em Ciências dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ - Brasil.*

⁴ *Engenheiro mecânico, Doutor em Ciências dos Materiais, Professor Pesquisador, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ - Brasil.*

⁵ *Engenheiro Metalurgista, Ph.D, Professor Titular, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ - Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Na última década, o crescimento gradual de pesquisas na área de compósitos reforçados com fibras naturais lignocelulósicas (CFNLs) tem tido grande relevância científica e tecnológica, garantida pelas vantagens que as fibras naturais apresentam quando comparadas a outros materiais fibrosos e sintéticos. [1-3]. Diferentemente dos materiais tradicionais (fibras sintéticas como: fibra de vidro, poliaramida e fibra de carbono), as fibras naturais lignocelulósicas (FNLs) são cultivadas ou extraídas da natureza e, são compostas basicamente por fibrilas de celulose semicristalina agrupadas em um componente matricial constituído de hemicelulose e lignina (um composto amorfo e hidrofóbico, com estrutura tridimensional e altamente ramificada, que acarreta um alto grau de polimerização e rigidez à fibra), que são ligadas por pontes de hidrogênios gerando uma rede tridimensional [4-6].

As propriedades mecânicas das FNLs, são determinadas pelo teor de celulose presente nas fibras, pois durante sua síntese, ligações poliméricas formam longas cadeias em que as moléculas ficam muito próximas através de longos segmentos, dando origem a fortes ligações químicas secundárias intermoleculares que são responsáveis pela grande resistência dos materiais celulósicos [7-8]. Nessas regiões em que as moléculas se encaixam muito próximas com ângulos fibrilares específicos, são originadas as regiões cristalinas (Figura 1).

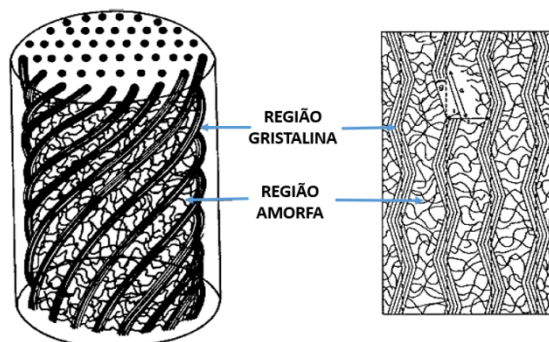


Figura 1. Descrição esquemática para a espessura da fibra. a) vista 3-d e, b) vista em 2-d [7].

Nesta visão, quanto maior for o teor de celulose, o grau de polimerização e menor o ângulo fibrilar (Figura 1-b), maior será a resistência mecânica e rigidez das FNLs [9]. Por exemplo, dentre as FNLs tradicionais brasileiras, a fibra de curauá (*Ananas erectifloius*) de origem Amazônica, destaca-se nas aplicações de engenharia pela sua elevada resistência mecânica, atribuída principalmente, a sua composição química: 70% de teor de celulose, 21% de hemicelulose, 8% de lignina e 1% de teor de cinzas [10].

É comum que os valores de resistência das FNLs possuam uma grande dispersão já que, eles podem ser influenciados por fatores como: variação dimensional ao longo do eixo longitudinal, o tipo de cultivo e condições climáticas, variabilidade da seção transversal da fibra e outros [10].

No caso, do desenvolvimento de projetos de compósitos sustentáveis utilizando as FNLs, é importante que sejam levados em consideração o tempo de exposição das fibras a tratamentos superficiais (quando for o caso), assim como, aos efeitos ambientais que os CFNLs estarão condicionados durante sua aplicação; isto pois, ambos os efeitos poderão comprometer as propriedades finais do compósito, assim como, encurtar o tempo de vida útil do produto final.

Em relação aos efeitos ambientais, as degradações promovidas nos CFNLs pela radiação ultravioleta ocorrerão por um processo localizado na superfície da macromolécula, com profundidade de penetração da luz limitada a uma camada de micrômetros de espessura [11]. Essa degradação provoca um amarelamento na superfície do polímero, independentemente da quantidade de horas de exposição à radiação. No caso das FNLs, essa modificação é atribuída aos grupamentos químicos (cromóforos) pertencentes a lignina que sofrem transições eletrônicas ao absorverem luz (fótons) na faixa do ultravioleta (abaixo de 350 nm), promovendo a degradação e envelhecimento precoce da fibra [12].

Visto que poucas literaturas simulam os efeitos destrutivos da radiação solar nos CFNLs, reproduzindo os efeitos fotoquímicos que acarretam a degradação dos materiais orgânicos sujeitos às intempéries (quando estes são dispostos na superfície do compósito), esse trabalho objetiva avaliar as alterações físico-químicas em uma fibra natural lignocelulósica, no caso a fibra de curauá, após ser exposta a 150 e 300 horas à radiação ultravioleta (UV-B).

2 DESENVOLVIMENTO

Foram utilizadas neste estudo, mantas de curauá produzidas na região amazônica paraense, especificamente em Santarém, e fornecidas pela empresa Pematec Triangel do Brasil Ltda. As amostras foram separadas em 3 (três) grupos de avaliação, de acordo com as condições de ensaio, “como recebido” ou degradado; conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Grupos de avaliação adotados no presente estudo.

GRUPOS DE AVALIAÇÃO	CONDIÇÕES DE DEGRADAÇÃO
CURAUÁ CR	Como recebido
CURAUÁ UV 150	Irradiado com 150 horas de UV-B
CURAUÁ UV 300	Irradiado com 300 horas de UV-B

As mantas foram expostas à radiação ultravioleta de acordo com a norma ASTM G154 [13]. O ensaio foi realizado no Laboratório de Ensaio Ambientais em Polímeros- IME/RJ, em uma câmara de sistema acelerado de envelhecimento para não metálicos – Ultravioleta “B” marca Comexim, modelo C-UV. As lâmpadas fluorescentes utilizadas como fonte de radiação UV foram da marca Comexim com intensidade de 40 W, operando numa faixa de 280/320 nm, com pico em 313 nm.

As mudanças estruturais nas fibras em face da degradação produzida pela exposição à radiação ultravioleta, foram verificadas por meio de análises físico-químicas para cada grupo de avaliação, para termos de comparação.

A espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), foi realizada por meio de um espectrômetro modelo Thermo Scientific Smart ITR is50 FT-IR, modelo Nicolet, na região entre 400 cm^{-1} e 4000 cm^{-1} , empregando-se a técnica de refletância total atenuada (ATR). Os espectros em transmissão foram obtidos com resolução de 4 cm^{-1} e 64 varreduras em cada ensaio, para se obter uma boa razão sinal/ruído. A análise foi utilizada para verificar a existência de alterações na estrutura das amostras irradiadas, servindo como uma ferramenta para a identificação de possíveis variações no comprimento de onda e absorções características.

Para avaliar as alterações nos constituintes da fibra de curauá antes e após radiações, foi determinado por meio da Equação 1 o índice de oxidação (IO). Esse

índice foi atribuído à razão entre as bandas 1727 cm^{-1} e 1033 cm^{-1} conferidas respectivamente, ao estiramento e às vibrações dos grupos carbonila ($\text{C}=\text{O}$), acetila e polissacarídeos presentes nas frações celulósicas da fibra [14-17], com o pico referência 2917 cm^{-1} , correspondente as vibrações de hidrocarbonetos saturados; considerado inalterado após os tempos de radiações adotados [18-19].

$$IO = \frac{I(1727 \text{ ou } 1033)}{I(2917)} \quad (1)$$

A análise termogravimétrica (TGA) das amostras foi realizada em um analisador termogravimétrico da marca TA Instruments, modelo TGA-Q500, dispoendo de um par termoeletrico de cromel-alumel e de um sistema computadorizado de análise. As amostras de curauá foram retiradas de cada grupo de avaliação pesando cerca de 5,0 mg. Essas foram colocadas em cadinhos de platina e aquecidas de 25°C a 500°C , sob atmosfera de nitrogênio com fluxo de 40 mL/min, na velocidade de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Foram determinadas, para grupo de avaliação, a perda de massa, a temperatura de início da perda de massa por extrapolação do “onset” (T_0) e a temperatura de máxima taxa de perda de massa (T_d); considerada igual à do “pico” de máxima intensidade na primeira derivada da curva termogravimétrica (TGA).

Para identificar as mudanças estruturais nas superfícies das fibras CR e degradadas, foram feitas análises microscópicas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV), da marca JEOL, modelo JSM 5800LV (IME), utilizando-se energia do feixe de elétrons de 20 kV e magnificação de 300x.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Espectroscopia no Infravermelho (FTIR-ATR)

O espectro de FTIR mostrado na Figura 2 apresenta as bandas de absorbância características para a fibra de curauá CR.

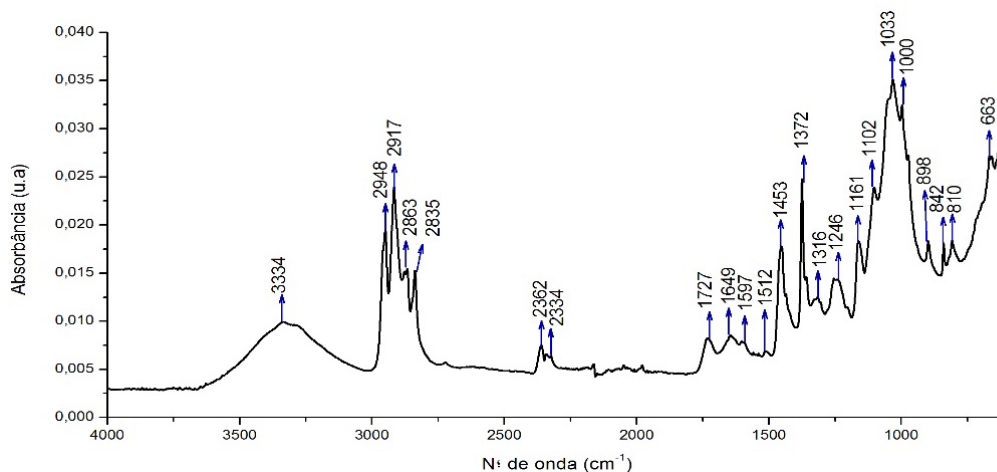


Figura 2. Espectrograma de FTIR da manta de curauá “como recebido”.

O pico referente a banda 3334 cm^{-1} é atribuído ao estiramento de grupos $-\text{OH}$ (álcoois) na celulose e água; a banda de absorção em 2917 cm^{-1} está relacionada ao alongamento assimétrico de hidrocarbonetos saturados ($\text{C}-\text{H}_n$), também constituintes

da celulose [17;20]. Os picos próximos a banda 1727 cm^{-1} referem-se ao estiramento e às vibrações dos grupos carbonila (C=O) e acetila encontrados nos componentes da hemicelulose [14-15]. Entre as bandas 1512 cm^{-1} e 1000 cm^{-1} encontra-se a região aromática da lignina, característica do dobramento ou estiramento de vibrações dos grupos C-H e C-O, e de outros grupos como, a acetila. A região espectral entre 1102 cm^{-1} e 1000 cm^{-1} é atribuída ao estiramento dos grupos C-O-C (éteres), sendo a banda em 1033 cm^{-1} (C-O e OH álcool secundário) referida ao estiramento de polissacarídeos presentes na celulose e lignina [14;16-17]. Os picos compreendidos entre 898 cm^{-1} e 663 cm^{-1} são característicos da cisão do hidrogênio (no grupo O-H) fora do plano do anel aromático [16].

Os espectrogramas da manta de curauá submetida aos tempos de radiação UV, são mostrados na Figura 3. Pode-se observar que na região espectral entre as bandas 1727 e 633 cm^{-1} , houve uma redução das intensidades após os tempos de radiações UV, principalmente após 300 horas de exposição.

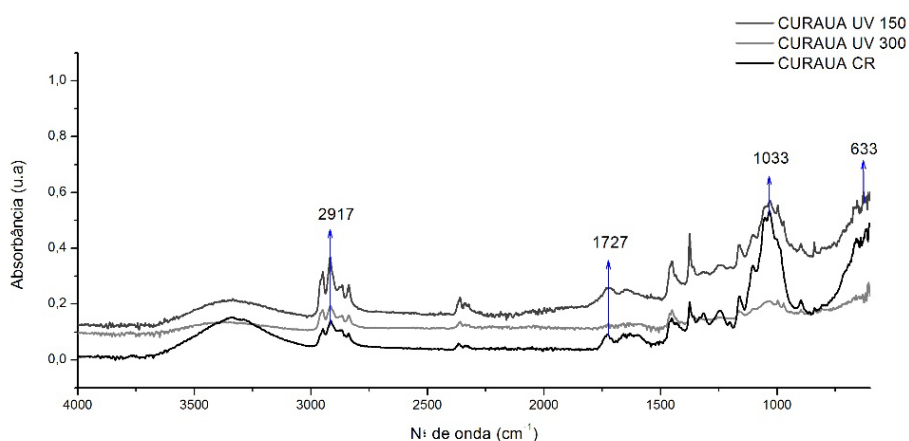


Figura 3. Espectrogramas de FTIR normalizados da manta de curauá antes e após os tempos de 150 e 300 horas sob radiação ultravioleta.

A Tabela 2 apresenta os valores do índice de oxidação das intensidades dos picos de absorbância normalizados (1727 e 1033 cm^{-1}), provenientes do estiramento dos grupos C=O, C-O-C, C-O e OH. Ela confirma uma redução no IO para as amostras irradiadas em todas as condições, corroborando com a literatura [18;21].

Tabela 2. Índices de oxidação dos “picos” das bandas características da manta de curauá normalizados pela banda 2917 cm^{-1} , antes e após exposição aos tempos de UV.

Condições	Índice de Oxidação	
	(IO) $1727 / 2917$	(IO) $1033 / 2917$
Curauá CR	0,658	3,870
Curauá UV 150	0,467	1,996
Curauá UV 300	0,416	1,154

Os resultados demonstram que ocorreu uma redução proporcional do IO com o tempo de exposição da radiação UV na fibra de curauá, sugerindo a ocorrência de cisões do grupo C-O-C e nos álcoois secundários da cadeia molecular da celulose, promovendo uma diminuição da massa molar do material [14;16]. Pode-se observar na região espectral entre as bandas 1512 cm^{-1} e 1000 cm^{-1} (região aromática da lignina) que houve uma redução significativa na intensidade dos picos, comprovada

pela diminuição do IO na banda 1033 cm^{-1} . Esses valores sugerem que a lignina foi significativamente degradada pela radiação ultravioleta, por meio de cisões em suas ligações principais.

3.2 Análise térmica por TGA

São apresentados na Figura 4 as curvas de TGA e DTG obtidas para a manta de curauá, antes e após aos diferentes tempos de exposição à radiação UV-B. Os parâmetros obtidos nas análises são mostrados na Tabela 3.

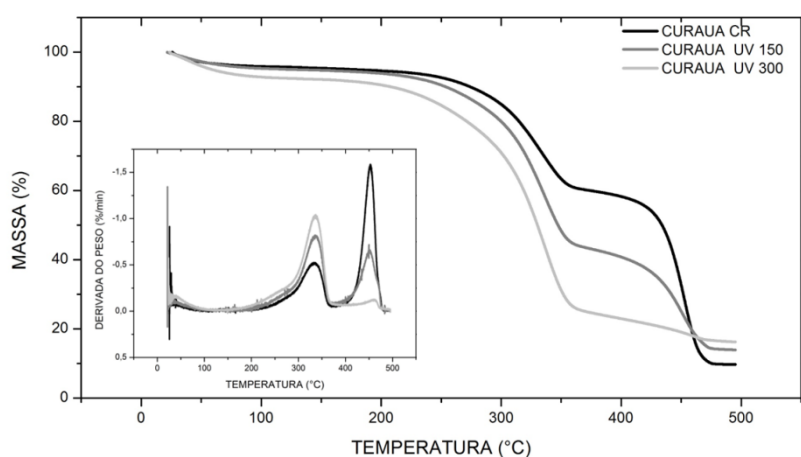


Figura 4. Sobreposição dos termogramas de TGA e DTG da manta de curauá, antes e após os tempos de 150 e 300 horas sob radiação ultravioleta.

Tabela 3. Parâmetros obtidos na análise termogravimétrica para o Curauá.

Condições	Perda de Massa (%)					Temperaturas (°C)		
	Faixa de Temperaturas (°C)					(T ₀)	(T _d) ₁	(T _d) ₂
	25-115	115-380	380-460	Total	Resíduo Total (%)			
CURAUÁ CR	3,92	36,69	49,90	90,51	09,50	237,2	334,3	453,4
CURAUÁ UV 150	4,81	53,35	28,71	86,87	13,13	210,9	336,8	451,1
CURAUÁ UV 300	7,35	69,60	08,06	85,01	15,00	204,4	335,6	459,5

A decomposição da manta de curauá, em todas as condições de estudo, se inicia em aproximadamente em 25°C, terminando na faixa de 115°C e com uma perda mássica média de 6% em peso. Esse estágio é atribuído a perda de água adsorvida nas fibras. O segundo estágio ocorre entre 115 e 380°C, sendo atribuído a degradação térmica da hemicelulose presente nas fibras naturais [16; 22]. Esse estágio tem a temperatura de degradação máxima (T_{d1}) média de 332,4°C e perda mássica de ~58%. Os valores são maiores que os encontrados na literatura [22], e se explicam pela diferença de morfologias dos reforços, o que pode diferir nos meios de transferência térmica no interior dos materiais [23].

Os estágios finais de decomposição ocorreram na faixa de 380 – 460°C, sendo esses atribuídos a degradação das frações celulósicas (~350°C) na fibra de curauá, assim como, da degradação da lignina (~300 – 400°C). Os valores obtidos para o TGA, mostram que o tempo de 300 hs, ocasionou uma menor perda de massa na região 380 – 460°C em relação aos outros grupos de avaliação. Essa perda é

atribuída às cisões da lignina na cadeia macromolecular após a radiação, corroborando com a análise de FTIR para a região espectral de $1512 - 1000 \text{ cm}^{-1}$. As análises de TGA para a manta de curauá CR e irradiadas, mostram que as temperaturas de início de decomposição (T_0) diminuem à medida que se aumenta os tempos de radiação UV-B. Os resultados mostram que os tempos de radiação produzem alterações significativas na estabilidade térmica do material estudado. Todavia, para aplicações de até 200°C , as mantas de curauá para todas as condições adotadas nesse trabalho, apresentam uma boa estabilidade térmica.

3.3 Morfologia superficial da fibra de curauá antes e após às radiações UV-B

A figura 5 apresenta as microfotografias da superfície das fibras de curauá antes e após os tempos de radiações UV-B.

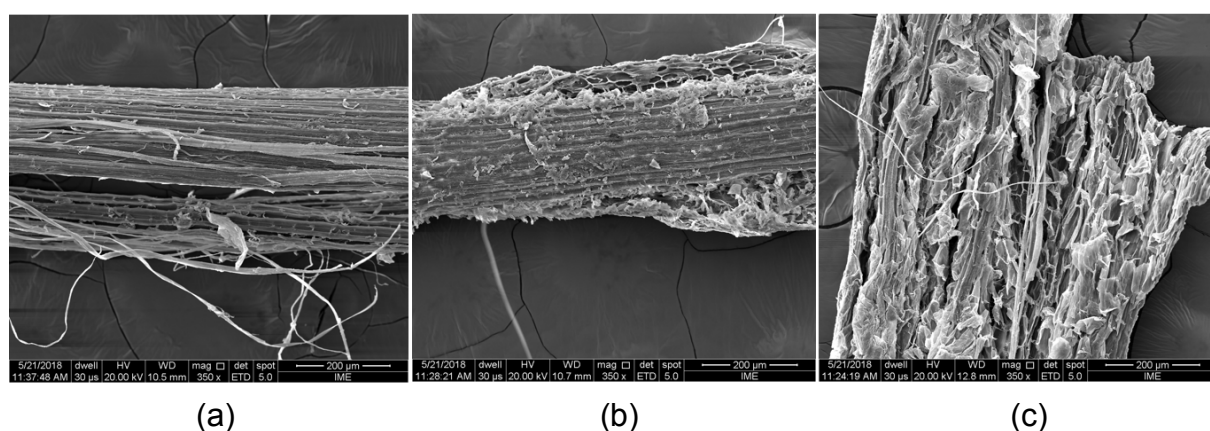


Figura 5. Análise por MEV da superfície da fibra de curauá CR (a); irradiada com 150 h de UV-B (b) e 300 h de UV-B (c); 300x de aumento.

Na Figura 4(a) é mostrado o aspecto superficial da fibra de curauá “como recebido”. Pode-se observar uma exposição da estrutura fibrilar interna da fibra, provavelmente devido algum procedimento de lavagem alcalina da manta durante o seu processamento, que é usualmente realizada para remover as frações amorfas que conferem rigidez a fibra e caráter hidrofóbico [24].

As Figuras 4(b) e 4(c) mostram os efeitos ocasionados na superfície das fibras de curauá com 150 h e 300 h de irradiação UV-B, respectivamente. Pode-se observar que em ambos os casos, a irradiação acarretou a formação de vazios entre as estruturas fibrilares, atribuídas principalmente, à remoção da matriz, que é atribuída à perda de lignina e de frações celulósicas, como observado no FTIR. Nota-se que o maior tempo de exposição à radiação UV-B (300 h), ocasionou uma maior remoção da lignina, evidente pela quantidade de vazios gerados após o tratamento.

4 CONCLUSÃO

Os resultados mostram que os tempos de 150 h e 300 h de exposição à radiação ultravioleta, promovem degradação e diminuição da massa molar da fibra de curauá. Esta degradação sugere a ocorrência de cisões de grupos C-O-C e nos álcoois secundários da cadeia molecular da celulose e lignina, diminuindo a estabilidade térmica da fibra, como mostrado pelas análises de FTIR e TGA. A análise

morfológica por MEV confirma este resultado, mostrando a remoção da matriz constituída de hemicelulose e lignina, pelos vazios gerados, após os tempos de irradiação UV-B. Conclui-se que os tempos de irradiação UV-B estudados, promovem envelhecimento precoce da fibra de curauá, e possivelmente, diminuição das suas propriedades mecânicas. Sendo assim, deve-se estabelecer soluções capazes de neutralizar ou amenizar os efeitos que a radiação ultravioleta pode causar sobre a superfície dos compósitos reforçados com fibras de curauá, ou com outras fibras lignocelulósicas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Microscopia Eletrônica (IME) e ao Laboratório de Apoio Instrumental (IMA-UFRJ) pela contribuição nas análises, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 Gallos A, Pães G, Allais F, Beaugrand J. Lignocellulosic fibers: a critical review of the extrusion process for enhancement of the properties of natural fiber composites. *RSC Adv.* 2017, 7, 34638.
- 2 Pickering KL, Efendy MGA, Le TM. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites: Part A.* 83; 2016: 98-112.
- 3 Young RA. Utilization of Natural Fibers: Characterization, Modification and Applications. In: Leão AL, Carvalho FX, Frollini E. *Lignocellulosic - Plastics Composites.* São Paulo, USP & UNESP, p.1-21, 1997.
- 4 Silva R, Haraguchi SK, Muniz EC, Rubira AF. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. *Química Nova*, Vol. 32; 661-671, 2009.
- 5 Bledzki AK, Sperber VE, Faruk O. Natural and Wood Fibre Reinforcement in Polymers. *Rapra Review Reports.* Vol.13, n. 8: 2002. 158 p.
- 6 Mohanty AK, Misra M, Drzal LT. *Natural fibers, Biopolymers, and Biocomposites.* Taylor & Francis Group. 2005. 852 p.
- 7 Bledzki AK, Gassan J. Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science.* 24: 1999. p. 221-274.
- 8 Tomczak F. Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil. 2010. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2010.
- 9 Angrizani CC. Compósitos Laminados híbridos de curauá/vidro: Análise mecânica experimental e teórica. 2011. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Escola de Engenharia. Porto Alegre. 2011.
- 10 Monteiro SN, Lopes FPD, Barbosa AP, Bevitori AB, Silva ILA, Costa LL. Natural Lignocellulosic Fibers as Engineering Materials – Na Overview. *Metallurgical and Materials Transactions A.* Volume 42^a, 2011. 2963-2974 p.
- 11 Andradý AL, Hamid SH, Hu X, Torikai A. Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology.* 46: 96-103. 1998.
- 12 Pastore TCM. Estudos do efeito da radiação ultravioleta em madeiras por espectroscopias Raman (FT-RAMAN), de refletância difusa no infravermelho (DRIFT) e no visível (CIE-L*a*b*). 2004. 131 f. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Instituto de Química, Brasília, 2004.
- 13 ASTM G 154-16, Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2016. <https://doi.org/10.1520/g0154-16>.

- 14 Spinacé MAS, De Paoli MA. Biocomposite of a multilayer film scrap and curauá fibers: preparation and environmental degradation. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2017. 30(2): p. 225- 240.
- 15 Boiso C, Berwig KH, Scienza LC, Zattera AJ. The photodegradation and Biodegradation of rEPS/Curaua Fiber composites. *Polymer Composites*. 2013; p.967 - 977.
- 16 Elias E, Costa R, Marques F, Oliveira G, Guo Q, Thomas S, Souza JrFG. Oil-spill cleanup: The influence of acetylated curaua fibers on the oil-removal capability of magnetic composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 2015; p. 41732(1-8). DOI:10.1002/APP.41732.
- 17 Tomczak F, Satyanarayana KG, Sydenstricker THD. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil: Part III – Morphology and properties of Brazilian curauá fibers. *Composites: Part A*; 38: p. 2227-2236. 2007.
- 18 Stark NM. Photodegradation and Photostabilization of weathered wood flour filled polyethylene composites. 2003. 223f. - Dissertation for the Degree of Ph.D. (School of Forestry Resources & Environmental Science) Michigan Technological University. 2003.
- 19 Fan M, Dai D, Huang B. (2012). Fourier Transform Infrared Spectroscopy for Natural Fibres, *Fourier Transform - Materials Analysis*, DrSalihSalih (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/35482. Available from: <https://www.intechopen.com/books/fourier-transform-materials-analysis/fourier-transform-infrared-spectroscopy-for-natural-fibres>.
- 20 Hoareau W, Trindade WG, Siegmund B, Castellan A, Frollini E. Sugar cane bagasse and curaua ligninisoxidized by chlorine dioxide and reacted with furfuryl alcohol: characterization and stability. *Polymer Degradation and Stability*. 2004; 86: p. 567-576.
- 21 Güven O, Monteiro SN, Moura EAB, Drelich JW. Re-Emerging Field of Lignocellulosic Fiber – *Polymer Composites and Ionizing Radiation Technology in their Formulation*. Taylor & Francis Group. 2016; 56 (4): p.702-736.
- 22 Orlando GSJ, Melo RP, Sales RBC, Ayres E, Patricio PSO. Processing and characterization of polyethylene/curauá composites: Pontencial for application as thermal insulated coating. *Journal of Building Engineering*. (2017). <http://dx.doi.org/10.1016/j.job.2017.04.016>.
- 23 Vasco MC, Neto SC, Nascimento EM, Azevedo E. Gamma radiation effect on sisal/polyurethane composites without coupling agents. *Polímeros*, 2017; 27(2): p.165-170.
- 24 D’Almeida ALS, Calado V, Barreto DW, D’Almeida JRM. Efeito do tratamento de mercerização em fibras de curauá (*Ananas erectfolius*). *Anais do 8º Congresso Brasileiro de Polímeros*.