

Síntese e caracterização de filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro: uma análise de verificação de propriedades mecânicas, informações das superfícies e a absorção e emissão dos elementos

Synthesis and characterization of biodegradable bamboo-based thin films functionalized with iron oxide: a verification analysis of mechanical properties, surface information and the absorption and emission of elements

DOI:10.34117/bjdv8n4-312

Recebimento dos originais: 21/02/2022

Aceitação para publicação: 31/03/2022

Viviane Alencar Marques Araújo do Nascimento

Mestre em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia

Instituição: Universidade Federal do Acre – UFAC

Endereço: BR 364, Km 04, Distrito Industrial, 8902, Rio Branco – AC, Brasil

E-mail: vivyane.marques.mv@gmail.com

Marcelo Ramon da Silva Nunes

Doutorando pela Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal – BIONORTE

Instituição: Universidade Federal do Acre – UFAC

Endereço: BR 364, Km 04, Distrito Industrial, 8902, Rio Branco – AC, Brasil

E-mail: marcelo.nunes@ifac.edu.br

William Ferreira Alves

Doutorado em Química

Instituição: Universidade Federal do Acre – UFAC

Endereço: BR 364, Km 04, Distrito Industrial, 8902, Rio Branco – AC, Brasil

E-mail: william.alves@ufac.br

Luis Eduardo Maggi

Doutorado em Engenharia Biomédica

Instituição: Universidade Federal do Acre – UFAC

Endereço: BR 364, Km 04, Distrito Industrial, 8902, Rio Branco – AC, Brasil

E-mail: luis.maggi@gmail.com

Antonio Romero da Costa Pinheiro

Pós-doutorando no Grupo de Inferência de Reservatório (GIR)

Instituição: Universidade Federal do Acre – UFAC

Endereço: BR 364, Km 04, Distrito Industrial, 8902, Rio Branco – AC, Brasil

E-mail: antonio.pinheiro@ufac.br

Rogério de Freitas Lacerda

Doutorado em Bioquímica

Instituição: Universidade Federal do Acre – UFAC

Endereço: BR 364, Km 04, Distrito Industrial, 8902, Rio Branco – AC, Brasil.

E-mail: rfl_bio@yahoo.com.br

Marcelo Castanheira da Silva

Doutorado em Física

Instituição: Universidade Federal do Acre – UFAC

Endereço: BR 364, Km 04, Distrito Industrial, 8902, Rio Branco – AC, Brasil

E-mail: marcelo.silva@ufac.br

Carlos Henrique Moreira Lima

Pós-doutorado em física

Instituição: Universidade Federal do Acre – UFAC

Endereço: BR 364, Km 04, Distrito Industrial, 8902, Rio Branco – AC, Brasil

E-mail: carlos.lima@ufac.br

Tiago de Jesus Santos

Pós-Doutorado em Física Nuclear

Instituição: Universidade Federal do Acre – UFAC

Endereço: BR 364, Km 04, Distrito Industrial, 8902, Rio Branco – AC, Brasil

E-mail: tiago.jesus@ufac.br

Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez

Pós-doutorado em Nanociência e Nanobiotecnologia

Instituição: Universidade Federal do Acre – UFAC

Endereço: BR 364, Km 04, Distrito Industrial, 8902, Rio Branco – AC, Brasil

E-mail: anselmo.rodriguez@ufac.br

RESUMO

Guadua Weber-Baueri Pilger popularmente conhecido por bambu (taboca), encontrado na região Amazônica, Acre. Foram sintetizadas nanopartículas de óxido de ferro pelo método de coprecipitação. A Carboximetilcelulose (CMC) foi obtida pela síntese de Williamson (reação de substituição) a partir do colmo do bambu. Preparou-se os filmes finos em base bambu dispersando a CMC em água destilada nas concentrações diferentes de Polietilenoglicol (PEG) 2,5%, 5% e 7,5%, as misturas ficaram em agitação magnética e adicionados nos nanocompósitos o óxido de ferro com 1% e 5%, através de um banho ultrassom as soluções foram misturadas e adicionadas a placa petri para uma secagem completa na estufa incubadora, resultando nos filmes finos funcionalizados com óxido de ferro (FFOF). Os filmes finos funcionalizados com óxido de ferro foram caracterizados seguindo os Ensaio de Tração em que a tensão normal mostra que os filmes finos por serem poliméricos apresentam uma boa resistência mecânica, a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dá informações das superfícies com 1% e 5% as amostras apresentam similaridade onde a presença das nanopartículas magnéticas (NPM) não afetou as morfologias das suas superfícies, a Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) é possível verificar a concentração de NPM visível na amostra indicando o revestimento a totalidade da superfície. Com base nos resultados obtidos foram possíveis obter resultados satisfatórios das análises dos (FFOF) apresentando um novo material nanoestruturado com diversas aplicações tecnológicas na engenharia dos materiais.

Palavras-chave: nanocompósitos magnéticos, polímeros biodegradáveis, nanopartículas magnéticas, material nanoestruturado.

ABSTRACT

Guadua Weber-Baueri Pilger popularly known as bamboo (taboca), found in the Amazon region, Acre. Iron oxide nanoparticles were synthesized by the coprecipitation method. Carboxymethylcellulose (CMC) was obtained by Williamson synthesis (replacement reaction) from bamboo stems. Bamboo-based thin films were prepared by dispersing the CMC in distilled water at different concentrations of Polyethylene glycol (PEG) 2.5%, 5% and 7.5%, the mixtures were magnetically stirred and iron oxide was added to the nanocomposites. with 1% and 5%, through an ultrasound bath, the solutions were mixed and added to the petri dish for complete drying in the incubator, resulting in thin films functionalized with iron oxide (FFOF). The thin films functionalized with iron oxide were characterized following the Tensile Tests in which the normal stress shows that the thin films, because they are polymeric, have a good mechanical resistance, the Scanning Electron Microscopy (SEM) gives information on the surfaces with 1% and 5% the samples show similarity where the presence of magnetic nanoparticles (NPM) did not affect the morphologies of their surfaces, the Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) it is possible to verify the concentration of NPM visible in the sample indicating the coating of the entire surface. Based on the results obtained, it was possible to obtain satisfactory results from the analysis of (FFOF) presenting a new nanostructured material with several technological applications in materials engineering.

Keywords: magnetic nanocomposites, biodegradable polymers, magnetic nanoparticles, nanostructured material.

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Guadua*, o bambu tropical e importante economicamente, com origem na América do Sul vai até os andes venezuelanos e no sul da fronteira entre Equador e Peru. O cultivo no Brasil ele pode atingir 30 m de altura e entre 15 cm e 20 cm de diâmetro (COSTA et al., 2017). Utilizado na construção civil, produção de lenha, fabricação de artesanato, móveis, proteção de móveis e fontes de água (COSTA et al., 2017). Os bambus são monocotiledôneos com rápido crescimento, notados como regeneradoras ambientais devido à sua capacidade de ocupar solos degradados, reduzindo o processo erosivo. Ainda, várias de suas espécies são utilizadas para diversos usos como matérias primas lignocelulósicas (RUSCH; HILLIG; CEOLIN, 2018).

O pó do carvão vegetal do bambu é utilizado com frequência para produzir fibras que são usadas na fabricação de roupas, meias, toalhas nas localidades da China e Taiwan, essas fibras mantem a capacidade funcional e possui meios de absorção eficaz eliminando odores, melhorando a qualidade do ar, capacidade bacteriostática, bloqueia a radiação eletromagnética e regula efeitos de temperatura e umidade (CHIANG; YEH, 2014).

Uma das aplicações do bambu é a utilização do carvão vegetal a base de bambu, a produção dele vem no setor, com alto potencial para o estado do Acre e atendendo as indústrias com demanda de energia (AFONSO; SILVA, 2017). Com isso necessita para essa cultura, mais investimentos em pesquisa (AFONSO; SILVA, 2017).

Obter materiais por filmes finos é o grande desafio atualmente, porque interfere diretamente na construção de dispositivos com propriedades diferentes que são a resistividade, constante dielétrica, coeficiente térmico de expansão e índice de refração que dependem da espessura e dos processos de deposição (GUARALDO, 2014). Os filmes finos são materiais sólidos, sendo eles metais, óxidos, nitretos e ligas metálicas e possuem aplicações diversas como na construção de capacitores, resistores, membranas e semicondutores (GUARALDO, 2014).

Os filmes finos têm diversas aplicações nas indústrias com características da sua fabricação, exemplos: a menor quantidade de material requerido para serem produzidos, a praticidade, a qualidade e a possibilidade de obtenção de novas propriedades destes materiais (MACHUNO et al., 2016) como, utilizando o PEG (MARIA, 2015).

As propriedades do Polietilenoglicol (PEG) são: um polímero semicristalino, biocompatível, biodegradável, não iônico, termoplástico, solúvel em água e quando puro no estado sólido, seu formato é de flocos brancos inodoros ao dissolver em água é incolor (MARIA, 2015).

A carboximetilcelulose são polímeros naturais aplicados em diversas áreas, sendo elas, farmacêuticas, biomédicas, agrícolas, e para embalagens de alimentos que vem se estudando para aumentar a validade (SANTOS, 2013).

Materiais nanoestruturados vem trazendo um importante impacto nas áreas de ciência básica, isso se dá pelas suas possíveis aplicações multifuncionais, ou seja, a compreensão da física envolvida por trás destes novos materiais nanométricos manifesta-se muito importante na ciência e tecnologia (SAMPAIO, 2016).

Apresenta-se em diferentes tamanhos e formas os nanomateriais e também se diferem na sua composição e origem, depende da interação das nanopartículas podem ser encontradas como partículas únicas, agregadas, pó ou dispersa em uma matriz, sobre coloides, suspensões, emulsão, nanocamadas, filmes, revertidos ou estabilizados (KROLOW et al., 2012).

As nanopartículas de óxido de ferro durante o processo de sínteses podem apresentar os grupos carregados e podem coordenar com cátions de ferro na solução

afetando a nucleação dos nanocristais resultado na sua formação com os tamanhos de grãos controlados estruturas automontadas (SHEN et al., 2014).

As nanopartículas de óxido de ferro de magnetita e a maghemita são investigadas como sistemas transportadores e liberadores de fármacos utilizados na ressonância magnética de imagem (GIESE, 2018). Assim como os polímeros que são materiais muito utilizados com aplicações em áreas farmacêutica, bio-triagem, alimentação e agricultura, sensores e atuadores (ASYRAF et al., 2017).

Nanocompósitos magnéticos tem muitas aplicações como armazenamento de energia, tratamento de águas residuais, automotivo, entre outras (HUANG et al., 2018). Os feitos de recursos biorrenováveis revelam uma abordagem mais ecológica em relação aos derivados do petróleo apresentando alto potencial para aplicação em diversas áreas do conhecimento como na medicina, engenharia, agricultura e entre outras como membranas, sensores, energia, óptica, usos automotivos e retardadores (ATES, 2020).

Este trabalho analisou o potencial do filme fino biodegradável em base de bambu funcionalizado com óxido de ferro, combinada com a utilização do carvão ativado de bambu tipo *Guadua Weber-Baueri Pilger*, foram realizados Ensaio de Tração, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) para verificação de propriedades mecânicas, informações das superfícies e a absorção e emissão dos elementos contidos nesse material.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A caracterização seguiu as seguintes análises: de Tração para o levantamento das propriedades mecânicas dos filmes finos, a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) que permitiu obter informações das superfícies de várias amostras, a Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) forneceu uma análise de assinatura de absorção e emissão do elemento.

2.2 MÉTODO DE ANÁLISE EXPERIMENTAL

2.2.1 Ensaio de Tração

Os ensaios de tração se deram conforme o levantamento das propriedades mecânicas dos filmes finos realizados na Máquina Universal de Ensaio Mecânicos Destrutivos AG-UNE02 da marca ALGETC.

Nos ensaios de tração seguiu-se a metodologia de Caruso (2015), para se obter a tensão normal, dividiu-se a força que atua nos filmes finos pela sua área da seção transversal. Com isso, a força obtida indiretamente pela pressão do fluido hidráulico do sistema e a área do cilindro, equação 1:

$$F = p \cdot A_{cilindro} \quad (1)$$

Onde,

- F é a força que o cilindro imprime no filme fino;
- p é a pressão do fluido hidráulico medida no manômetro do equipamento;
- $A_{cilindro}$ é a área do cilindro hidráulico, definida pelo equipamento utilizado de 6,5 cm².

Após esses cálculos da força obtida pelo cilindro no filme fino, calcula-se então a tensão normal pela equação 2:

$$\sigma = \frac{F}{A_{filme\ fino}} \quad (2)$$

Onde,

- σ é a tensão normal;
- F é a força que o cilindro imprime no filme fino;
- $A_{filme\ fino}$ é a área do filme fino, definida pela medição com o paquímetro para todos os filmes foi de 3 cm².

2.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV

Para observação da área de sua estrutura superficial dos nanocompósitos foram submetidos a técnica de caracterização de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV, modelo LMU, marca Tescan – Vega 3. Seguindo os parâmetros de Mev com WD de 9.90 mm e Det de SE e SEM HV de 10.0 kV.

2.2.3 Espectroscopia por Energia Dispersiva - EDS

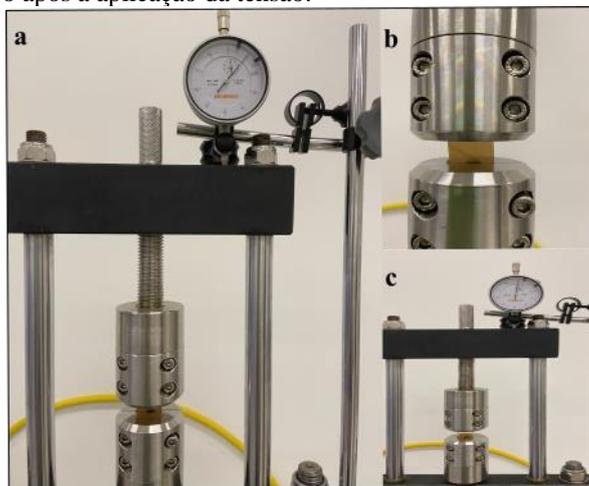
Para a análise da determinação da composição química por Espectroscopia Dispersiva de Raios-X (EDS) foram utilizados o equipamento OXFORD INSTRUMENTS INCAx-act, modelo 51-ADD0007.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

Foram realizados os ensaios de tração nos filmes finos biodegradáveis funcionalizadas com as nanopartículas magnéticas para verificar as suas propriedades mecânicas. A figura 1 apresenta o ensaio realizado na Máquina Universal de Ensaio Mecânicos Destrutivos, observando-se que em (a) o filme fino localizado no cilindro, no (b) o filme fino localizado no cilindro antes da tensão e em (c) o filme fino localizado no cilindro após a aplicação da tensão.

Figura 1. Ensaio de tração nos filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro. (a) filme fino localizado no cilindro; (b) filme fino localizado no cilindro antes da tensão; (c) filme fino localizado no cilindro após a aplicação da tensão.



Os filmes finos por ser polimérico apresenta uma boa resistência e o teste de tração obteve-se resultados satisfatórios. Caruso (2015) declara que na maioria dos casos, os materiais poliméricos apresentam resistência elevada em comparação com cargas trativas, pelo arranjo entre as macromoléculas poliméricas e seu comportamento à deformação.

A tabela 1 apresenta os valores das medidas realizadas no filmes finos da força do cilindro que imprime no filme fino e a tensão normal calculados a partir das equações 1 e 2 conforme os dados obtidos do equipamento utilizado.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de tração nos filmes finos com o valores de força que o cilindro imprime no filme fino e a tensão normal.

Medidas	FILMES FINOS	Força que o cilindro imprime no filme fino (F) Tensão normal (σ) em MPa	
		em daN	
1	CMC	819	273
2	CMC + PEG 2,5% + NPM 1%	2400	800
3	CMC + PEG 5% + NPM 1%	1118	372,7
4	CMC + PEG 7,5% + NPM 1%	242,5	80,8
5	CMC + PEG 2,5% + NPM 5%	1275	425
6	CMC + PEG 5% + NPM 5%	475	158,3
7	CMC + PEG 7,5% + NPM 5%	900	300

Os resultados obtidos na tabela 1 observamos semelhanças de comportamento dos filmes quando sujeito aos ensaios de tração, apresentam uma tensão de 273 MPa para a medida 1 e 800 MPa para a medida 2 com a nanopartícula de 1% no filme, com a nanopartícula de 5% no filme a medida 5 apresenta a tensão de 425 MPa, os valores variam de acordo com suas composições químicas, processo de preparação e a força que o cilindro imprimiu no filme fino durante o ensaio.

Bejo et al (2021) concluem que as propriedades mecânicas de materiais submetidos a tração ou flexão são influenciadas pela composição química, processo de fabricação e tratamento térmico, a discrepância de valores entre as tensões na tração para os materiais ensaiados pode ser visualizada pela força aplicada na análise das tensões.

A policaprolactona (PCL) é um poliéster biodegradável com maior potencial para aplicações tecnológicas, pois possui características principais, como boa tenacidade, flexibilidade e compatibilidade com vários polímeros, sendo eles, o poliácido láctico (PLA), o polihidroxibutirato (PHB) e poli butileno adipato co-tereftalato (PBAT) (SIQUEIRA et al. 2018).

Outra aplicação é a misturas formadas por amido e poliácido láctico (PLA) que são muito promissoras do ponto de vista ambiental e econômico, onde, o amido é um polímero natural abundante e barato e o PLA é um polímero biodegradável com boas propriedades mecânicas (BRITO; SEBASTIÃO; BRUNO TAVARES, 2015).

3.2 ANÁLISES MEV

3.2.1 Filme à base de bambu

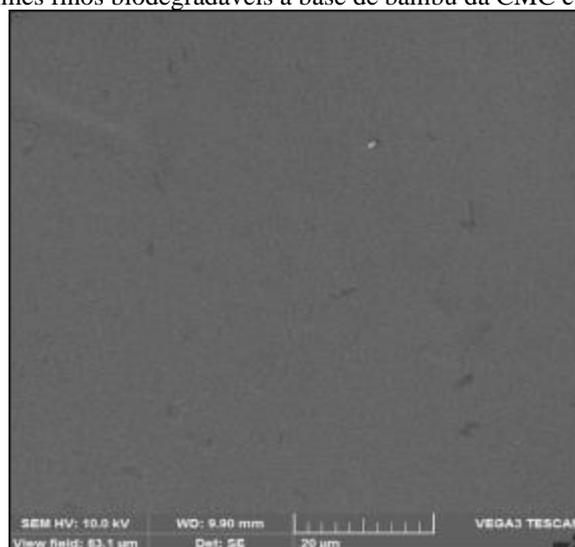
Foi realizado a análise MEV no filme a base de bambu verificando sua superfície de acordo com a caracterização do equipamento utilizando a medida de 20 μm .

A figura 2 apresenta MEV no filme 1 CMC puro com a solução de 0,5g de CMC com dispersão de 25 mL de H₂O. Observa-se que o filme 1 apenas com a CMC está homogêneo com uma superfície mais lisa sem apresentar pontos heterogêneo na sua superfície, as outras fases observadas estão relacionadas a presença de impurezas no material vinda do processo de secagem.

Analisa-se que o aspecto das suas partículas de CMC no filme pelas características físicas e mecânicas da celulose não houve diferença na morfologia das partículas como observado na microscopia eletrônica de varredura.

Os autores Santos e Tavares (2013) afirmam que se nota um menor número de partículas agregadas o que aponta para uma melhor dispersão da celulose microcristalina tratada na matriz polimérica.

Figura 2. MEV nos filmes finos biodegradáveis a base de bambu da CMC com a medida de 20 µm.

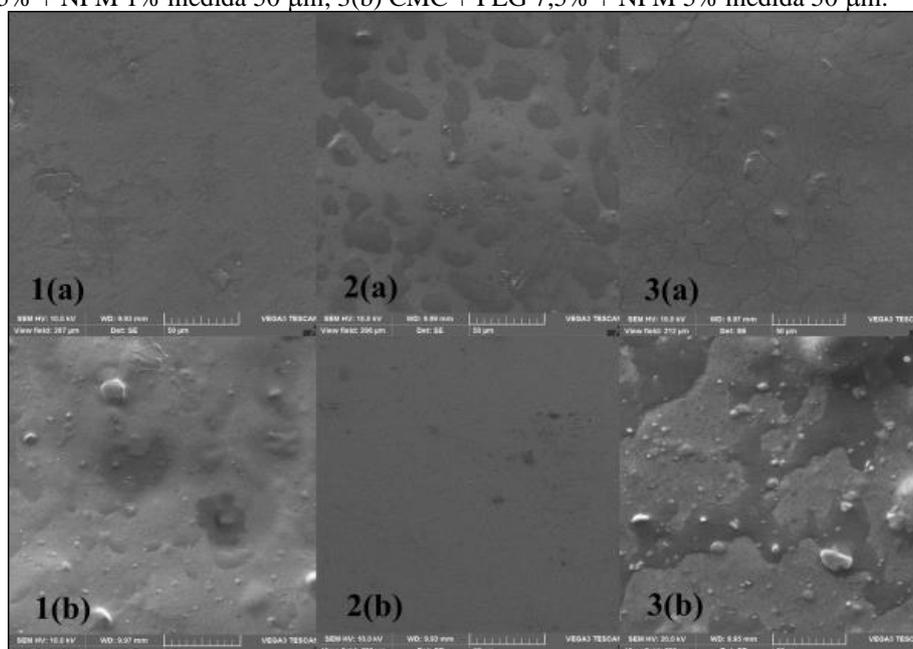


3.2.2 Filmes à base de bambu funcionalizados com óxido de ferro

A figura 3, na síntese foram preparados seis filmes com concentrações diferentes de PEG e adicionados NPM de 1% (1(a) com 0,5 g de CMC, 2,5 % m/m de PEG com dispersão de 25 mL de H₂O, 2(a) com 0,5 g de CMC, 5 % m/m de PEG com dispersão de 25 mL de H₂O e 3(a) com 0,5 g de CMC, 7,5 % m/m de PEG com dispersão de 25 mL de H₂O) e 5% (1(b) com 0,5 g de CMC, 2,5 % m/m de PEG com dispersão de 25 mL de H₂O, 2(b) com 0,5 g de CMC, 5 % m/m de PEG com dispersão de 25 mL de H₂O e 3(b) com 0,5 g de CMC, 7,5 % m/m de PEG com dispersão de 25 mL de H₂O), para todos observa-se que as amostras apresentam similaridade onde a presença das nanopartículas magnéticas não afetou suas morfologias da superfície destes filmes.

Analisa-se que no filme 1(a) e 2(b) estão homogêneos, com a superfície lisa e sem fragmentação e a presença de NPM de 1% no filme 1(a) não apresentou rachaduras, assim sua resistência não foi prejudicada, entretanto o filme 3(a) apresentou as rachaduras, o filme 1(b), 2(a) e 3(b) apresentaram homogeneidade e sua superfície está visível a aderência das NPM no material. Os filmes apresentam a presença de impurezas no material vinda do processo de secagem. No geral mesmo os filmes com as nanopartículas magnéticas apresentarem na sua superfície bolas de algumas nanômetros o material ainda está bom.

Figura 3. MEV nos filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro. 1(a) CMC + PEG 2,5% + NPM 1% medida 50 μm ; 1(b) CMC + PEG 2,5% + NPM 5% medida 50 μm ; 2(a) CMC + PEG 5% + NPM 1% medida 50 μm ; 2(b) CMC + PEG 5% + NPM 5% medida 50 μm ; 3(a) CMC + PEG 7,5% + NPM 1% medida 50 μm ; 3(b) CMC + PEG 7,5% + NPM 5% medida 50 μm .



Para Silva (2018) a adição do plastificante PEG apresenta eficiência na permeação de vapores nos filmes. Os autores Silva et al (2018) afirmam que as nanopartículas modificam a estrutura do filme que forma grânulos esféricos de tamanho 20 nm, mas elas estão de forma homogênea no substrato.

As aplicações estão em embalagens, borrachas, próteses, materiais eletrônicos entre outros, se dar pela versatilidade e baixo custo de produção, com a fácil aquisição desses materiais poliméricos fez que substituíssem várias outras matérias primas como metal, madeira, vidro entre outros (SILVA; RABELO, 2017).

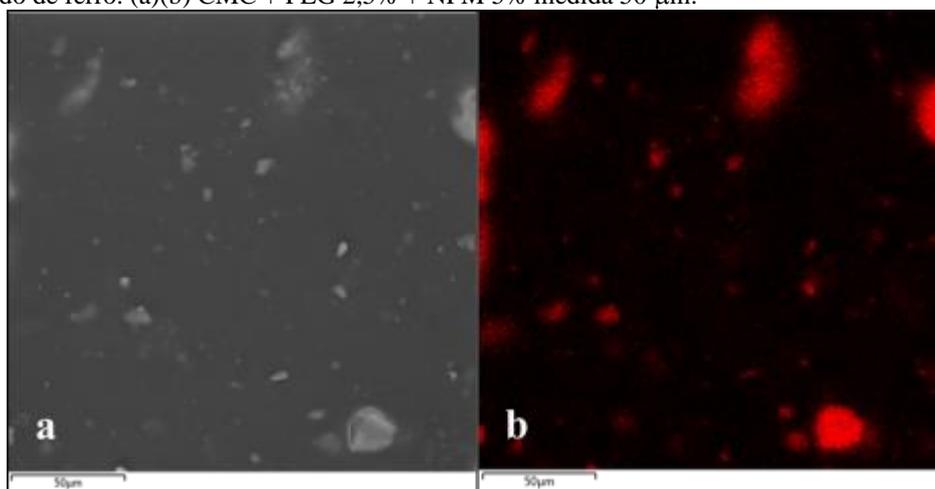
A PCL também tem sido utilizada de forma frequente como aditivo e carga para melhorar as características de processamento e as propriedades finais, tais como, a resistência ao impacto de vários materiais (SIQUEIRA et al. 2018).

3.2 ANÁLISES EDS

Foi realizado as análises EDS em que se obteve a análise da determinação da composição química do filme fino biodegradável a base de bambu funcionalizado com óxido de ferro sua composição CMC + PEG 2,5% + NPM 5%. De acordo com a caracterização do equipamento utilizou-se a medida de 50 μm .

A figura 4 é o resultado da análise química realizada na amostra, obtém-se as informações qualitativas e quantitativas da composição na região de incidência do feixe de elétrons, assim, esses sinais formam o EDS. Em (a) é a representação da superfície do filme fino onde a homogeneidade de sua superfície a uma aderência das NPM no material, em (b) observa-se a mesma superfície destacam-se só a presença do óxido de ferro (Fe_3O_4) no filme fino analisado, conclui-se que as nanopartículas magnéticas apresentam na sua superfície um aglomerado em alguns pontos (destaque em vermelho) de algumas nanômetros dispersos não saindo da condição de homogeneidade.

Figura 4. Resultado da superfície com o EDS no filme fino biodegradável a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro. (a)(b) CMC + PEG 2,5% + NPM 5% medida 50 μm .



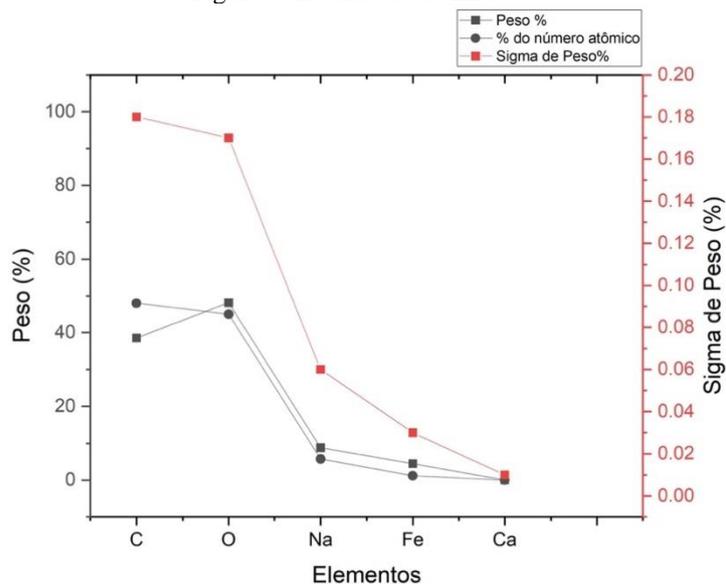
Observa-se os aglomerados das nanopartículas de forma esférica no filme fino da figura 4 que mostra a morfologia superficial. A autora Panta (2013) confirma que os aglomerados se formam durante o processo de secagem, e o fenômeno de agregação entre as nanopartículas é atribuído ao crescimento por coalescimento dos núcleos, onde as

partículas tendem a se agregar na direção do estado de menor energia livre, dado pela redução da interfaces com o meio.

Apresenta-se na figura 5 os resultados do EDS onde mostra os valores encontrados do percentual peso e do número atômico da qualificação e quantificação da presença dos elementos de átomos de carbono (C), oxigênio (O), sódio (Na), ferro (Fe) e cálcio (Ca). Através do Fe e O verifica-se a formação das nanopartículas de óxido de ferro, onde o percentual peso do ferro é de 4,48 % e do O 48,14 % com maior percentual.

Variedades de modificadores foram acrescentadas as misturas de reação ao se trabalhar com nanomaterias magnéticos de óxido de ferro para melhorar a estrutura, controlar o tamanho e melhorar a estabilidade coloidal e biocompatibilidade, são eles, poly (acrylic acid) - PAA, polyethyleneimine (PEI), polyethylene glycol (PEG) e outros polímeros biocompatíveis (SHEN et al., 2014).

Figura 5. Resultados do EDS.



Contatou-se a presença do ferro e a formação das nanopartículas de óxido de ferro nos resultados do EDS revestindo o filme fino. Assim, para Tondela (2015) os resultados do EDS detectando a presença do elemento, exemplo 6% mesmo nos vales profundos, indica que, ainda sem perfeição, o filme fino reveste a totalidade da superfície.

Matos 2016, afirma que: “As nanopartículas de óxido de ferro possuem baixa toxicidade, são biocompatíveis e, devido ao seu tamanho reduzido, possuem imensa área superficial específica e alta reatividade”.

4 CONCLUSÕES

Conclui-se que a síntese de um filme fino biodegradável a base de matéria-prima abundante na região amazônica (bambu) e as caracterizações apresentaram boas características estruturais. Com a utilização do PEG tornou o filme mais resistente e maleável.

Observou-se que a utilização da CMC não houve agregação de celulose, os resultados mostram que foram possíveis a dispersão da CMC no polímero na preparação e o PEG os tornou filmes não quebradiços. Os valores de tração mostram que os filmes finos por serem poliméricos apresentam uma boa resistência e os ensaios de tração conclui-se com resultados satisfatórios. As análises MEV a superfície mostra o alcance da sua homogeneidade nos filmes funcionalizados com óxido de ferro, resistentes e de boa aderência para PEG 5% e PEG 7,5%. As análises EDS foram possíveis verificar a concentração de NPM visível na amostra indicando que foi possível o revestimento a totalidade da superfície. Em base de nossos resultados podemos afirmar que preparamos um novo material nanoestruturado com interessantes aplicações nanotecnológicas.

Este material de filmes finos biodegradáveis a base de bambu (CMC), PEG (2,5%, 5% e 7,5%) e NPM 1% e 5%, podem ser, no futuro compor sacolas/utensílios domésticos/industriais biodegradáveis.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Nanobiotecnologia do Complexo Bionorte por fornecer os materiais e apoio, ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, a Universidade Federal de Alagoas e o Instituto Federal de Alagoas pela permissão de uso do laboratório e equipamentos que contribuíram fundamentalmente para a viabilização do trabalho, ao Laboratório Temático de Microscopia Ótica do Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas (LTMOE/INPA) pela utilização de seu equipamento, e ao Centro Universitário Uninorte por autorizar a utilização do equipamento de Ensaio Mecânicos Destrutivos.

REFERÊNCIAS

AFONSO, Dixon G; SILVA, Zenóbio A. G. P. G. Bambu nativo: alternativa de desenvolvimento econômico e sustentável para o estado do Acre. *In: Drumond, Patrícia; Wiedman, Guilherme (org.). **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. 1. ed. Rio de Janeiro: ICH, 2017.*

ASYRAF, M. et al. **Desenvolvimento Recente de Polímeros Condutivos Dopados com Nanomateriais**. JOM, v. 69, n. 12, p. 2515–2523, 2017.

ATES, B. et al. Química, Estruturas e Aplicações Avançadas de Nanocompósitos de Recursos Biorrenováveis. **Chemical Reviews**, 2020.

BEJO, Felipe Govoni et al. Estudo comparativo das propriedades mecânicas dos aços SAE 1045 e SAE 1020, em diferentes condições metalúrgicas, através dos ensaios de tração unidirecional e flexão em três pontos. **Matéria (Rio de Janeiro)** [online]. 2021, v. 26, n. 03.

BRITO, L. M., SEBASTIÃO, P. J. O., & BRUNO TAVARES, M. I. Avaliação de relaxometria por RMN de blendas de amido-PLA nanoestruturadas. **Polymer Testing**, v. 45, p. 161–167, 2015.

CARUSO, J. G. **Desenvolvimento numérico-experimental de corpos de prova aplicáveis a ensaios de tração, compressão e torção de polímeros**. 2015. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2015.

CHIANG, T., & YEH, H. Síntese de Partícula de Prata em Carvão de Bambu por Tripropileno Glicol e Caracterização de Compósitos. **Materials**, v. 7, n. 2, p. 742–750, 2014.

COSTA, Francilina Araújo. et al. Protocolo para micropropagação de duas espécies de Guadua. *In: Drumond, Patrícia; Wiedman, Guilherme (org.). **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. 1. ed. Rio de Janeiro: ICH, 2017.*

GIESE, Ellen Cristine. Síntese de nanopartículas de óxido de ferro. **Série Tecnológica Ambiental**, 103, p. 33. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018.

GUARALDO, Thais Tasso. **Síntese e aplicação de filmes biocomponentes nanoestruturados de 'TI''O IND.2''W''O IND.3' por template e 'SI''TI''O IND.2''PT' por heterojunção em conversão de energia solar e remediação ambiental**. 2014. 218 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Química de Araraquara, 2014.

HUANG, Y. et al. Desenvolvimentos recentes em embalagens de alimentos baseados em nanomateriais. **Nanomaterials**, v. 8, n. 10, p. 830, 2018.

KROLOW, M. Z., HARTWIG, C. A., LINK, G. C., RAUBACH, C. W., PEREIRA, J. S. F., PICOLATO, R. S., ... MESKO, M. F. Síntese e Caracterização de Nanocompósitos de Carbono. **NanoCarbon** 2012, p. 33–47.

MACHUNO, L. G. B., LIMA, A. B., BUSO, R. R., ABDANUR, M. F., RANGEL, E. C., GELAMO, R. V. Desenvolvimento e avaliação de uma fonte DC de alta tensão para utilização em sistema de deposição de filmes finos por pulverização catódica. **Revista Matéria**, v. 21, n. 2, p. 492-500, 2016.

MARIA, Roberta Patrícia Medeiros de. **Síntese e caracterização elétrica de blendas e compósitos de PMMA/PEG e PMMA/PEG/Na₂WO₄·2H₂O**. 2015. 135f. Tese (Doutorado em Química) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

MATOS, H. L. S. **Síntese de nanopartículas de óxido de ferro funcionalizadas para remoção de Pb²⁺**. 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

PANTA, Priscila Chaves. **Obtenção de nanopartículas de óxido e ferro por coprecipitação, sua estabilização com surfactantes e caracterização quanto à morfologia, cristalinidade e comportamento magnético**. 2013. 115 p. Tese (doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas Metalúrgica e de Materiais. Porto Alegre – RS, 2013.

RUSCH, F.; HILLIG, Éverton; CEOLIN, G. B. Anatomia de hastes adultas de bambu: uma revisão. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S.l.], v. 38, 2018.

SAMPAIO, Guilherme Moisés. **Nanopartículas magnéticas: simulações para o regime superparamagnético**. 2016. 100 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Materiais. Sorocaba, 2016.

SANTOS, Fernanda A. TAVARES, Maria Inês B. Preparo e Caracterização de Filmes obtidos a partir de Poli(Ácido Lático) e Celulose Microcristalina. **Polímeros**, vol. 23, n. 2, p. 229-235, 2013.

SANTOS, Franciele Nicole dos. **Preparação e estudo de filmes automontados de quitosana e carboximetilcelulose sobre substrato de poli(ácido lático)**. 2013. 70 f. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, 2013.

SHEN, M., YU, Y., FAN, G. et al. Síntese e caracterização de nanopartículas de Fe₃O₄ revestidas com quitosana monodispersa através de um processo solvotérmico fácil de uma etapa para adsorção de albumina sérica bovina. **Nanoscale Res Lett** **9**, p. 296, 2014.

SIQUEIRA, Danilo Diniz et al. **Efeito das variáveis reacionais na síntese de um polímero biodegradável funcionalizado: PCL-g-MA**. *Matéria* (Rio J.), Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, e12252, 2018.

SILVA, Mário Rodrigues Pereira da. **Produção e caracterização de filmes de PHB/PEG/ALG-e/NPsAg e PHB/ZnO/Ag com aplicação bacteriana**. 2018. 127 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Sergipe, Ciência e Engenharia de Materiais. São Cristóvão-SE, 2018.

SILVA, F. A. DA; RABELO, D. O Uso Sustentável de Polímeros. **Revista Processos Químicos**, v. 11, n. 21, p. 9-16, 2 jan. 2017.

SILVA, Henrique Faccin da. et al. Preparação e caracterização de filmes finos automontados de PAH/PAA/TIO₂ fotossensibilizados com clorofilina cúprica para a fotodegradação de paracetamol. **Scientia Cum indústria**. 2018, v. 6, n. 2.

TONDELA, João Paulo dos Santos. **Filmes finos de titânio-zircônio para osteointegração**. 2015, p. 222. Tese (doutorado), Universidade Coimbra, Programa de Ciência em Saúde da Faculdade de Medicina, Coimbra:[s.n.], 2015.