



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,  
INOVAÇÃO E TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA –  
CITA**

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES FINOS  
BIODEGRADÁVEIS A BASE DE BAMBU  
FUNCIONALIZADOS COM ÓXIDO DE FERRO: Um novo  
material nanoestruturado**

**VIVYANE ALENCAR MARQUES ARAÚJO DO NASCIMENTO**

RIO BRANCO, AC  
03/2022

**VIVYANE ALENCAR MARQUES ARAÚJO DO NASCIMENTO**

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES FINOS  
BIODEGRADÁVEIS A BASE DE BAMBU  
FUNCIONALIZADOS COM ÓXIDO DE FERRO: Um novo  
material nanoestruturado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, da Universidade Federal do Acre, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências e Inovação Tecnológica**.

**Orientador: Dr. ANSELMO FORTUNATO RUIZ RODRIGUEZ**

**Co-orientador: Dr. WILLIAM FERREIRA ALVES**

RIO BRANCO, AC  
03/2022

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

---

- N244s Nascimento, Viviane Alencar Marques Araújo do, 1993 -  
Síntese e caracterização de filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro: um novo material nanoestruturado / Viviane Alencar Marques Araújo do Nascimento; orientador: Prof. Dr. Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez e coorientador Dr. William Ferreira Alves. – 2022.  
97 f.: il.; 30 cm.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, Rio Branco, 2022.  
Inclui referências bibliográficas e apêndice.
- 1.Nanocompósitos magnéticos. 2.Polímeros biodegradáveis. 3. Nanopartículas magnéticas. I. Vieira, Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez (Orientador). II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E TECNOLOGIA  
PARA A AMAZÔNIA – CITA

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES FINOS  
BIODEGRADÁVEIS A BASE DE BAMBU FUNCIONALIZADOS COM  
ÓXIDO DE FERRO: Um novo material nanoestruturado**

VIVYANE ALENCAR MARQUES ARAÚJO DO NASCIMENTO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 10 de Março de 2022.



---

ANSELMO FORTUNATO RUIZ RODRIGUEZ  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE



---

LUIS EDUARDO MAGGI  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE



---

JASON JERRY ATOCHE MEDRANO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE

Dedico a minha mamãe Vitória Regia Marques por todo o amor, apoio e incentivo durante essa trajetória.

## AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos vão a todos que contribuíram nessa trajetória, com destaque a algumas pessoas e instituições em especial a minha profunda gratidão.

Ao professor Dr. Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez pela orientação, comprometimento, por ter acreditado em mim, por compartilhar seus conhecimentos e pela confiança neste trabalho.

Ao professor Dr. William Ferreira Alves pela co-orientação, pela contribuição, por todo conselho e aprendizado compartilhado na realização deste trabalho.

Ao Marcelo Ramon da Silva Nunes por todo o apoio no laboratório, pelo conhecimento compartilhado, pela confiança na realização desse estudo, pela amizade e pela atenção.

Ao Laboratório de Nanobiotecnologia do Complexo Bionorte da Universidade Federal do Acre por conceder sua utilização, material e equipamentos para o trabalho realizado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia (CITA) e todos os professores que contribuíram compartilhando seus ensinamentos e conhecimentos em diversas áreas, pelo apoio e por acreditarem em mim no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Grupo da Bionorte pelo compartilhamento de experiências, conhecimentos e apoio.

A Universidade Federal do Rio Grande do Norte e ao Instituto Federal de Alagoas pela parceria e apoio nas análises das caracterizações realizadas no seu laboratório e equipamentos.

Ao Centro Universitário Uninorte pela parceria e apoio nas análises realizadas no seu laboratório e equipamento.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas (LTMOE/INPA) e ao Anderson Ramos pelo apoio para as análises realizadas no local.

Aos meus colegas de turma pelo incentivo e parceria durante a convivência, com companheirismo, amizade e apoio.

## **EPÍGRAFE**

*“Como uma droga potente, a teoria quântica é maravilhosa quando aplicada de modo correto, mas desastrosa quando abusada e mal aplicada”.*

John Polkinghorne.

## RESUMO

O *Guadua Weber-Baueri Pilger* popularmente conhecido por bambu (taboca), encontrado na região Amazônica, Acre. A Carboximetilcelulose (CMC) foi obtida pela síntese de Williamson (reação de substituição) a partir do colmo do bambu. Foram sintetizadas nanopartículas de óxido de ferro pelo método de coprecipitação. Preparou-se os filmes finos em base bambu dispersando a CMC em concentrações diferentes de Polietilenoglicol (PEG) 2,5%, 5% e 7,5%, foram adicionadas nos nanocompósitos o óxido de ferro com 1% e 5%, após secagem completa resultando nos filmes finos funcionalizados com óxido de ferro (FFOF). Na caracterização seguiu os Ensaio de Tração onde a tensão normal mostra que os filmes finos por serem poliméricos apresentam uma boa resistência, a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) os FFOF com 1% e 5% as amostras apresentam similaridade onde a presença das nanopartículas magnéticas não afetando as morfologias das suas superfícies, a Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) verifica-se a concentração de NPM visível na amostra indicando o revestimento a totalidade da superfície, os padrões de Difração de Raios-X (DRX) obtendo as fases cristalinas do material com 3 picos característicos da CMC, o Potencial Zeta determinou a nanopartículas de ferro com -31mV um potencial satisfatório, os Índices de Refração variam conforme a concentração do PEG, não variando com a nanopartícula magnética, a Análise Termogravimétrica (TGA) para os FFOF, há uma perda de massa de 50% a uma temperatura de 298°C pelo processo de degradação da CMC e PEG e a Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) para todos os filmes finos onde a presença das nanopartículas magnéticas a curva apresenta as transições de primeira e segunda ordem sendo semelhantes. 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. Nanobiotecnologia. Engenharia.

## ABSTRACT

The *Guadua Weber-Baueri* Pilger popularly known as bamboo (taboca), found in the Amazon region, Acre. Carboxymethylcellulose (CMC) was obtained by Williamson synthesis (replacement reaction) from bamboo stems. Iron oxide nanoparticles were synthesized by the coprecipitation method. Thin films were prepared on bamboo base dispersing the CMC in different concentrations of Polyethylene glycol (PEG) 2.5%, 5% and 7.5%, iron oxide with 1% and 5% were added to the nanocomposites, after drying resulting in thin films functionalized with iron oxide (FFOF). In the characterization followed the Tensile Tests where the normal tension shows that the thin films for being polymeric have a good resistance, the Scanning Electron Microscopy (SEM) the FFOF with 1% and 5% the samples present similarity where the presence of the magnetic nanoparticles not affecting the morphologies of its surfaces, the Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) verifies the concentration of visible NPM in the sample indicating the coating of the entire surface, the X-Ray Diffraction Patterns (XRD) obtaining the crystalline phases of the material with 3 characteristic peaks of the CMC, the Zeta Potential determined a satisfactory potential for iron nanoparticles with -31mV, the Refraction Index varies according to the PEG concentration, not varying with the magnetic nanoparticle, the Thermogravimetric Analysis (TGA) for the FFOF, there is a mass loss of 50% at a temperature of 298°C by the degradation process of CMC and PEG and Differential Scanning Calorimetry (DS C) for all thin films where the presence of magnetic nanoparticles the curve presents the first and second order transitions being similar. Based on the results obtained, it was possible to obtain satisfactory results from the analysis of FFFF, presenting a new nanostructured material with several technological applications in materials engineering.

**Keywords:** Magnetic nanocomposites. Biodegradable polymers. Magnetic nanoparticles. Nanobiotechnology. Engineering.

## LISTA DE FIGURAS

		<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b>	Utilidades do bambu.....	17
<b>Figura 2.</b>	Distribuição estimada de bambus no Brasil.....	18
<b>Figura 3.</b>	Região do Estado do Acre com áreas nativas da espécie de bambu <i>Guadua weberwarrii</i> .....	19
<b>Figura 4.</b>	Proposta de cadeia produtiva para o bambu nativo.....	22
<b>Figura 5.</b>	Ilustração do efeito fotovoltaico em um material semiconductor.....	25
<b>Figura 6.</b>	Arquitetura de uma célula solar polimérica com funcionamento dividida em cinco camadas.....	26
<b>Figura 7.</b>	Estrutura do Polietilenoglicol (PEG).....	30
<b>Figura 8.</b>	A unidade de repetição da Carboximetilcelulose (CMC) exemplo de polieletrólito.....	31
<b>Figura 9.</b>	Escala nanométrica uma representação de objetos naturais e artificiais.....	34
<b>Figura 10.</b>	Fluxograma do estudo.....	38
<b>Figura 11.</b>	Esquema da preparação da CMC adaptado de Machado (2000).....	40
<b>Figura 12.</b>	Esquema da síntese da nanopartícula de ferro adaptado de Kaur et al. (2014).....	41
<b>Figura 13.</b>	Fluxograma da preparação dos filmes fino com a NPM.....	42
<b>Figura 14.</b>	Desenho esquemático das quatro etapas do estudo.....	43
<b>Figura 15.</b>	Filme fino biodegradável a base de bambu com 0,5g CMC.....	49
<b>Figura 16.</b>	Filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro.....	51
<b>Figura 17.</b>	Ensaio de tração nos filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro .....	52
<b>Figura 18.</b>	MEV nos filmes finos biodegradáveis a base de bambu da CMC com a medida de 20 $\mu\text{m}$ .....	54
<b>Figura 19.</b>	MEV nos filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro.....	55
<b>Figura 20.</b>	Resultado da superfície com o EDS no filme fino biodegradável a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro.....	56
<b>Figura 21.</b>	Resultados do EDS.....	57
<b>Figura 22.</b>	DRX nos filmes finos biodegradáveis a base de bambu.....	58

<b>Figura 23.</b>	Análise size no óxido de ferro para o tamanho da nanopartícula....	60
<b>Figura 24.</b>	Filmes solúveis para análise do índice de refração.....	61
<b>Figura 25.</b>	Índices de refração e temperaturas das amostras 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.....	62
<b>Figura 26.</b>	Análise TGA, DSC da CMC.....	63
<b>Figura 27.</b>	Análise TGA, DSC dos filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro.....	65

## LISTA DE TABELAS

		Pág.
<b>Tabela 1.</b>	Quantificação das tipologias florestais com a ocorrência de bambu e da área efetiva ocupada com bambu nos municípios acreanos, Amazônia Sul-ocidental, Brasil.....	20
<b>Tabela 2.</b>	Características morfológicas do bambu nativo.....	22
<b>Tabela 3.</b>	Resultados dos ensaios de tração nos filmes finos com o valores de força que o cilindro imprimi no filme fino (F) e a tensão normal ( $\sigma$ ).....	53
<b>Tabela 4.</b>	Tamanho do cristalito para as amostras analisadas pelo DRX.....	59
<b>Tabela 5.</b>	Índice de refração e temperatura das três respostas obtidas.....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS

CMC – Carboximetilcelulose  
DRX – Difratoômetro de Raios-X  
DSC – Calorimetria Exploratória Diferencial  
EDS – Energia Dispersiva  
FFOF – Filmes finos funcionalizados com óxido de ferro.  
MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura  
Np-Fe – Nanopartículas de Ferro  
NPM – Nanopartículas Magnéticas  
PAA – Poly Acrylic Acid  
PCL – Policaprolactona  
PBAT – Polibutileno Adipato Co-Tereftalato  
PEI - Polyethyleneimine  
PEG – Polietilenoglicol  
PET – Polietileno Tereftalato  
PHB - Polihidroxibutirato  
PLA – Políácido láctico  
Poly – Vinyl alcohol  
PVP – Polivinilpirrolidona  
TGA - Termogravimétrica  
UFAC – Universidade Federal do Acre  
VBP – Valor Bruto da Produção

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_{cilindro}$  – Área do cilindro hidráulico

$A_{filme\ fino}$  – Área do filme fino

B – pico de difração;

b - alargamento instrumental

$F_2O_3$  – Óxido de ferro

F - força que o cilindro imprime no filme fino

g – gramas

$H_2O$  – Água destilada

L – tamanho do cristalito

mg – miligrama

mol – mol

mL – mililitro

$m^2$  – metro quadrado

N – Nitrogênio

nm – nanômetro

P – Fósforo

p - pressão do fluido hidráulico medida no manômetro

S – Enxofre

$\mu$  - micro

V – volts

$^{\circ}C$  – Temperatura

$\theta$  – teta

% porcentagem

$\sigma$  – tensão normal

$\lambda$  – comprimento de onda da radiação

$\beta$  – largura do pico à meia altura do pico de difração

## SUMÁRIO

	Pág.
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
2.1 Bambu .....	17
<b>2.1.1 APLICAÇÕES .....</b>	<b>21</b>
2.2 Filme Fino .....	23
2.3 Energia solar .....	24
2.4 Polímeros Biodegradáveis .....	27
<b>2.4.1 POLÍMEROS SINTÉTICOS .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.2 POLÍMERO POLIELETRÓLITO .....</b>	<b>30</b>
2.5 Nanotecnologia .....	31
2.6 Nanopartículas magnéticas .....	33
<b>2.6.1 NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE FERRO .....</b>	<b>35</b>
<b>2.6.2 NANOCOMPÓSITOS MAGNÉTICOS .....</b>	<b>36</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
3.1 Tipo de estudo .....	38
3.2 Procedimentos metodológicos .....	38
<b>3.2.1 PREPARAÇÃO DA CARBOXIMETILCELULOSE – CMC .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.2 SÍNTESE DA NANOPARTÍCULA DE FERRO .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.3 PREPARAÇÃO DO FILME FINO .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.5 COLETA DE DADOS .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.6 MÉTODO DE ANÁLISE EXPERIMENTAL .....</b>	<b>44</b>
3.2.6.1 ENSAIO DE TRAÇÃO .....	44
3.2.6.2 MISCROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – MEV .....	45
3.2.6.3 ESPECTROSCOPIA POR ENERGIA DISPERSIVA – EDS .....	46
3.2.6.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS – DRX .....	46
3.2.6.5 TAMANHO E ESTABILIDADE DAS NANOPARTÍCULAS – ZETASIZER .....	47
3.2.6.6 ÍNDICE DE REFRAÇÃO .....	47
3.2.6.7 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA – TGA .....	48
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>49</b>
4.1 Preparação do filme fino .....	49
<b>4.1.1 FILME A BASE DE BAMBÚ .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1.2 FILMES A BASE DE BAMBÚ FUNCIONALIZADOS COM ÓXIDO DE FERRO .....</b>	<b>50</b>
4.2 Caracterização .....	51
<b>4.2.1 ENSAIO DE TRAÇÃO .....</b>	<b>51</b>
<b>4.2.2 ANÁLISES MEV .....</b>	<b>53</b>
4.2.2.1 Filme a base de bambu .....	53
4.2.2.2 Filmes a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro.	54
<b>4.2.3 ANÁLISE EDS .....</b>	<b>55</b>
<b>4.2.4 ANÁLISES DRX .....</b>	<b>57</b>
<b>4.2.5 ANÁLISES POTENCIAL ZETA .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2.6 ÍNDICE DE REFRAÇÃO .....</b>	<b>61</b>
<b>4.2.7 ANÁLISES TGA .....</b>	<b>62</b>
4.2.7.1 Filme fino a base de bambu .....	63
4.2.7.2 Filmes a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro.	64

4.3 Proposta de aplicação .....	66
<b>5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>68</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>70</b>
<b>APÊNDICE A – Publicação Resumo .....</b>	<b>78</b>
<b>APÊNDICE B – Publicação Capítulo Livro .....</b>	<b>79</b>
<b>APÊNDICE C – Publicação Artigo .....</b>	<b>82</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os avanços crescentes em nanociência e nanotecnologia possibilitam modalidades novas de interação com sistemas biológicos, em avanços em medicamentos, engenharia de tecidos, biomédica e bioeletrônica (LIU et al., 2018).

A nanotecnologia procura a obtenção e caracterização de materiais com dimensões manométricas de  $10^{-9}$ m para aplicar em várias áreas, como indústrias farmacêuticas e biomédica, até biorremediação de solos e águas contaminadas (GIESE, 2018).

Estudos de dimensões manométricas torna-se promissor para a nanociência e a nanotecnologia por possuírem diversas aplicações tecnológicas, devido a suas estruturas e aplicações desde o século XXI (PEIXÔTO et al., 2021).

Nanomateriais define-se como materiais que possuem características estruturais com dimensão de 100 nm ou menos, incluindo uma dimensão como nanofilmes e nanocoatings, duas dimensões com os nanotubos e nanofios e três dimensões como as nanopartículas (KROLOW et al., 2012). Os nanocompósitos de polímero magnéticos são definidos como materiais compostos por um componente magnético inorgânico na forma de partículas, fibras ou lâmina com pelo menos uma dimensão na nanofaixa de metros embutida em um polímero orgânico (ZHU et al., 2013).

Nanomateriais magnéticos de óxido de ferro nas últimas décadas vem atraindo muitas pesquisas pelo interesse nas suas aplicações com grande potencial magnético, armazenamento, catálise, eletroquímica, diagnósticos médicos e terapêuticos, por conta de suas propriedades magnéticas, físico-químicas e ópticas (SHEN et al., 2014). Por várias rotas sintéticas, a decomposição térmica, hidrotérmica ou solvotérmica fornece melhores resultados relacionado ao tamanho e morfologia de nanopartículas (ZANCHETTIN, 2020).

Um produto ambientalmente funcional com propriedades tecnológicas é o carvão vegetal do bambu, produzido através de colmos de bambu, sendo feito pelo método de ativação química ou física (NISHIOKA; SEN, 2019), e sendo utilizado em purificação de água (KROLOW et al., 2012), ar, aplicações médicas, desodorização, melhoria do solo e em até roupas e toalhas por conta da sua grande área de superfície (NISHIOKA; SEN, 2019).

O carvão vegetal do bambu utiliza-se também no desenvolvimento da sua alta porosidade, na superfície química variável e reatividade (NISHIOKA; SEN, 2019), por isso o carvão vegetal do bambu é usado em muitos setores industriais (KROLOW et al., 2012) como alimentos, farmacêuticos, químico, petróleo e nuclear (NISHIOKA; SEN, 2019).

O bambu é considerado biomassa sustentável por este possuir uma rápida renovação, trazendo vários benefícios e características como a alta condutividade elétrica e também autolubrificante, podendo ser usado para um material de proteção eletromagnética (NISHIOKA; SEN, 2019). Além disso, tem autolubricidade, usado também como material de fricção, assim, trazendo uma série de características benéficas, pois atua em vários campos devido seu curto período de crescimento em comparação com a maioria das espécies de madeira (BARDHAN et al., 2014).

A importância desta dissertação manifestou-se por se realizar um experimento na área da nanobiotecnologia que pode trazer benefícios nas diversas aplicações tecnológicas, pois pouco se obtém estudos relacionados a síntese e caracterização de filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro. Assim, surgiu com a necessidade de um entendimento maior da nanotecnologia e controle da matéria em nanoescala, e molecular para o desenvolvimento de novos materiais.

Nesse contexto, o presente estudo discute: “A síntese e caracterização de filme fino biodegradável em base de bambu funcionalizado com óxido de ferro para um novo material nanoestruturado?”. Para auxiliar os objetivos específicos: sintetizar o filme fino em base do bambu, funcionalizar o filme fino com óxido de ferro, caracterizar o filme fino biodegradável funcionalizado com óxido de ferro e apresentar um novo material nanoestruturado com diversas aplicações tecnológicas.

Por se tratar de um estudo pioneiro no estado do ACRE, a pesquisa constituirá em uma boa alternativa de apoio aos estudantes, pesquisadores e demais interessados que buscam entender melhor as aplicações de nanomateriais magnéticos a base de bambu para o desenvolvimento regional e valorização dos produtos florestais.

A dissertação apresenta uma revisão da literatura abordando os conceitos importantes para compreensão da nanobiotecnologia e aplicações com nanomateriais magnéticos. Após apresenta-se os materiais e métodos definidos para sintetizar e caracterizar o filme fino produzido a base de bambu e funcionalizado com óxido de ferro e por fim os resultados e discussões são abordados conforme a metodologia adotada e a obtenção dos experimentos realizados.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

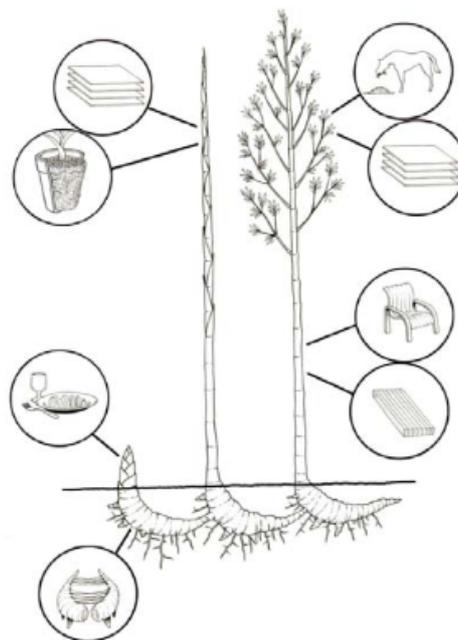
### 2.1 Bambu

Os bambus são monocotiledôneos com rápido crescimento, vistos 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).

A geração de produtos, impostos, divisas, emprego e renda vem do setor florestal na economia brasileira, o desenvolvimento desse setor é limitado na maior parte na exploração de madeira. Alguns exemplos desses produtos florestais não advindo da madeira é: frutos, fibras, condimentos, óleos, resinas, seivas, ceras, gomas, folhas, sementes, fármacos, forragens e combustível, etc., destacando o bambu que faz parte dessa lista (AFONSO; SILVA, 2017).

A característica do colmo de nasce com o diâmetro que possuirá na fase adulta faz com que ele tenha uma importância ambiental pelo fato da planta de mais rápido crescimento na superfície terrestre, produzindo colmos sem necessidade de replantio e também sequestra carbono, fazendo ele uma alternativa de reflorestamento, alinhamento, artesanato e aplicação na construção (BENAVIDES, 2012).

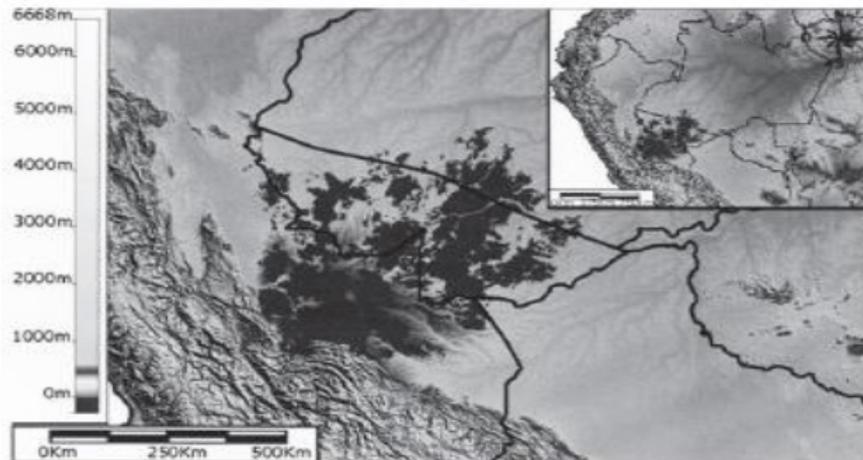
A figura 1 apresenta as utilidades do bambu de cada parte da planta.



**Figura 1.** Utilidades do bambu.

Fonte: Greco e Cromberg (2011) apud Benavides (2012).





**Figura 3.** Região do Estado do Acre com áreas nativas da espécie de bambu *Guadua weberwarrii*.  
Fonte: Ferreira (2014) apud Santos (2019).

Carmo, Amaral e Bardales (2017), afirma que o Governo do Estado do Acre informa sobre as onze tipologias florestais do Acre, o bambu aparece dominante em cinco com ocupações nos sub-bosque de 59% do território acreano.

Os resultados obtidos do SEPLAN no estudo de Carmo, Amaral e Bardales (2017), afirmam que o *Guadua weberbauri* ocorre em uma densidade média de 2.060 varas/hectare de diâmetro de 4,8 cm e altura média total de 14,8 m. Na análise da distribuição das florestas com bambu no Acre o município de Feijó, Sena Madureira e Tarauacá totaliza mais de 50% da área com bambu no estado e o município de Epitaciolândia não possui floresta com bambu.

A tabela 1 apresenta uma tabela que demonstra a grande oferta de matéria-prima para exploração econômica do bambu nos 21 municípios acreanos da Amazônia Sul-ocidental do Brasil. Observa-se um total de 10.969.410 ha de área efetiva da floresta com bambu e 4.563.688 ha de área com bambu.

<b>MUNICÍPIO</b>	<b>FLORESTA COM BAMBU (ha)</b>	<b>ÁREA COM BAMBU (ha)</b>
Feijó	2.601.841	1.122.460
Sena Madureira	2.045.614	740.082
Tarauacá	1.513.999	660.812
Marechal Thaumaturgo	762.083	376.788
Manuel Urbano	958.976	337.912
Rio Branco	568.910	296.215
Santa Rosa do Purus	520.894	226.761
Porto Walter	384.240	225.052
Jordão	481.133	148.621
Xapuri	235.278	127.030
Bujari	175.405	84.334
Cruzeiro do Sul	249.534	64.156
Assis Brasil	274.697	60.573
Porto Acre	81.379	38.783
Brasiléia	59.233	28.374
Acrelândia	17.875	8.193
Mâncio Lima	8.436	7.093
Capixaba	19.355	6.172
Senador Guimard	6.360	3.180
Rodrigues Alves	3.290	658
Plácido de Castro	878	439
<b>TOTAL</b>	<b>10.969.410</b>	<b>4.563.688</b>

**Tabela 1.** Quantificação das tipologias florestais com a ocorrência de bambu e da área efetiva ocupada com bambu nos municípios acreanos, Amazônia Sul-ocidental, Brasil.

Fonte: Adaptado de Carmo, Amaral, Bardales (2017).

O bambu é constituído por uma parte aérea, onde se encontra o tronco ou caule da planta chamada de colmo com forma cilíndrica e uma série de entrenós/ocos separados de forma transversal por diagramas, de onde saem os ramos e a folhagem, a outra parte é subterrânea, composta por rizoma e raiz (CARRARO, 2018).

As características do bambu são apresentadas como:

Os colmos saem da terra com diâmetro e número de nós definidos, atingindo a altura máxima em um ano, com o amadurecimento mudam suas características internas e se tornam mais resistentes. O diâmetro, altura, espessura da parede e forma de crescimento são diferentes de acordo com a espécie. As folhagens caem do colmo quando o bambu está na altura máxima e são chamadas de brácteas. As idades dos colos são avaliadas da seguinte forma: até um (01) ano não possuem folhas e são mais esverdeados, há brácteas cobrindo os nós e uma pelagem serosa nos internos; entre 01 e 02 anos possuem folhas, ramos, ramificações, cor um pouco amarelada; com três (03) ou mais anos não apresentam brácteas e possuem manchas provocadas por fungos (CARRARO, 2018, p. 25).

Em relação ao manejo nos cortes de madeiras é regulamentado pelo Decreto nº 6.660, de 21/09/2008, o qual dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa. No ano de 2011, o governo brasileiro sancionou a “Lei do Bambu” no decreto nº 12.484, que instituiu a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu, possibilitando condições a agricultores para a produção em larga escala, beneficiando seu uso em muitos setores, sendo eles: alimentação, mobiliários, construção civil e vários outros (BIANCHI, 2020).

O bambu possui aplicações tecnológicas interessantes, quando processado quimicamente ou fisicamente, como por exemplo, o pó do carvão vegetal. 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 como em 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).

São vários tipos de materiais que podem ser usados como precursor um deles é o carvão de biomassa considerado um dos melhores para suas grandes áreas de superfície, riqueza de poros, estruturas e baixo custo, podem ser obtidos a partir da biomassa e derivados de plantas, sendo o recurso renovável mais amplamente disponível (ZHOU et al., 2013).

### **2.1.1 APLICAÇÕES**

Relacionado a tendências e cenários a atividade florestal teve crescimento médio de 13% em cinco anos com atividades madeireiras e não madeireiras, transformando a atividade econômica mais importante do Acre, onde é responsável por 12,8% do Valor Bruto da Produção (VBP) (AFONSO; SILVA, 2017).

O gênero *Guadua*, o bambu tropical é 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).

Quando se fala de aplicações deve-se considerar as características da matéria prima utilizada. A tabela 2 apresenta duas espécies de bambu do gênero *Guadua* onde se analisa os dados de altura, diâmetro, formato, comprimento, largura e ocorrência.

ESPÉCIE	CARACTERÍSTICAS
<b>Guadua weberbaueri*</b>	Altura de 20 m a 25 m; diâmetro de 6 cm a 8 cm; lâminas foliares com formato elíptico-lanceoladas, de 13 cm a 17 cm de comprimento por 2 cm a 3,5 cm de largura; ocorrência de 1947 a 2884 colmos por hectare.
<b>Guadua ssp**</b>	Altura de 14,5 m a 35 m; diâmetro médio de 6,2 cm; ocorrência de 1594 colmo por hectare.

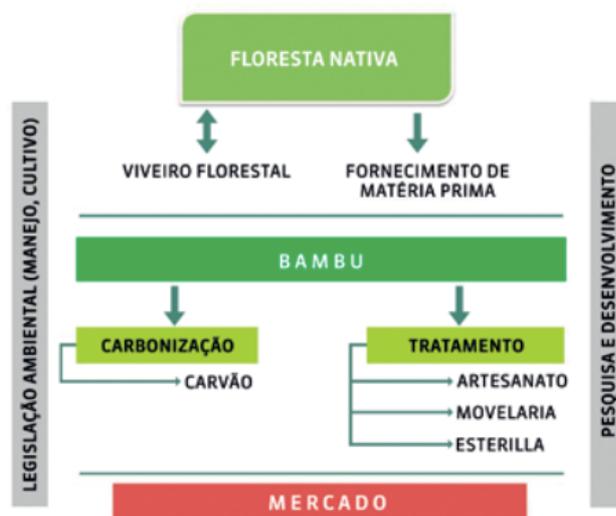
**Tabela 2.** Características morfológicas do bambu nativo.

Fonte: Adaptado de Silveira\* (2006), FUNTAC\*\* (2010) apud Afonso e Silva (2017).

Afonso e Silva (2017) apresentam o estudo de Dantas et al. (2005), com a afirmação de que as características das resistências físicas do bambu para fabricar celulose são acima das que utilizam matérias-primas tradicionais das espécies florestais. O bambu por possuir uma fibra virgem evita contaminação de produtos, então, é um material indicado para embalagens de alimentos, medicamentos, produtos refrigerados, detergentes, etc.

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).

A figura 4 apresenta a proposta de sugestão de uma estrutura básica de cadeia produtiva para o bambu nativo tendo como base a capacidade produtiva instalada. Observa-se que a proposta apresentada visa, a floresta nativa em suprir o mercado com a matéria-prima e o viveiro florestal fica com a função de reposição, manutenção e conservação do ambiente natural das espécies.



**Figura 4.** Proposta de cadeia produtiva para o bambu nativo.

Fonte: Afonso e Silva (2017).

Texeira et al. (2017) afirmam que no Brasil pouco se discute sobre a biomassa do bambu como alternativa para energia com diversos usos. Assim, surge a alternativa para produção de biomassa por sua alta produtividade e rápido crescimento e maturidade, aumentou rápido o seu uso comercial ultimamente e popular como substituto da madeira na produção da celulose, papel, carvão e construção civil.

A utilização do bambu na engenharia vem aumentando, pois, seu material é adequado por possuir um tubo vegetal lenhoso, leveza, beleza e alta resistência mecânica (OSTAPIV, 2017). Ou seja, o bambu vem a cada dia crescendo seus usos, pois suas características e possibilidades de aplicações estão cada vez mais sendo estudadas. Uma das aplicações é de filmes finos com nanopartículas magnéticas na área da energia em células solares para melhoria de seu desempenho (VASCONCELOS, 2020).

## 2.2 Filme Fino

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 são camadas, constituídas por um material determinado, da qual a espessura varia de alguns nanômetros até microns, crescidos ou depositados através de um fluxo atômico ou molecular contínuo sobre diversos tipos de substratos, que conseguem ser amorfos, monocristalinos ou policristalinos, por meio de variadas técnicas de deposição, possuindo o objetivo a sua fabricação é a obtenção de propriedades físico-químicas diferentes dos substratos onde encontram-se depositados (GOMES, 2017).

Estes são bastantes requeridos como materiais para diversas aplicações nos mais variados setores das indústrias em consequência das 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).

Filmes como biocomponentes são utilizados para diversos fins, sendo eles em eletrônicos, ópticos, fotoeletroquímicos e eletrocômicos, aplicados em diversas áreas como sensores, fotocatalise heterogênea, fotoeletroquímica, fotocromismo, células solares e células combustíveis (GUARALDO, 2014).

Pode-se preparar filmes finos com diversos compósitos para formação de um material e aplicação de diversas áreas. Pinheiro, Cruz e Ferreira (2011), afirmam: “Tem sido observado nos últimos anos um aumento da participação no mercado de fotovoltaicos das células solares baseadas na tecnologia de filmes finos”.

### 2.3 Energia solar

A primeira geração de energia fotovoltaica vem dos painéis de silício monocristalinos e policristalinos de cores pretas e azuladas possuindo uma maior eficiência na hora da conversão de luz e apresentam restrições como o peso das placas que ficam entre 18 kg e 25 kg. A segunda geração está voltada para os materiais mais finos e a terceira geração de energia solar está com os filmes fino e filmes fotovoltaicos orgânicos, são filmes semitransparentes, finos e flexíveis possibilitando a geração de energia através da luz, seja artificial ou natural que supre as restrições da primeira geração (SOUZA et al., 2020).

Células solares de terceira geração, a difusão de éxcitons na interface projetada pode dividir em elétrons e buracos, sendo um desafio para aplicações fotovoltaicas com novas tecnologias, a adição de nanopartículas magnéticas na camada ativa da célula solar fotovoltaica contribui para a melhoria do seu desempenho, além, da morfologia nas escalas de mistura doador-aceitador, no grau de cristalinidade dos filmes e sua condutividade (PALACIO, 2020).

Com o uso da nanotecnologia as soluções estão sendo encontradas facilitando assim a produção e o armazenamento de energias, variando desde pilhas e baterias com maior capacidade de armazenar até os painéis solares que possui a melhor captação de energia (HASAN; MARION, 2015).

A energia solar surgiu em 1839, pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel percebeu o efeito fotovoltaico com suas experiências. Ao passar dos anos cientistas foram estudando até que a primeira célula solar foi formalmente apresentada na reunião anual da National Academy of Sciences em Washington, e anunciada em coletiva de imprensa em 25 de abril de 1954 (SOUZA et al., 2020).

Em 1958 quando o satélite Vanguard I foi lançado, se utilizou pela primeira vez painéis solares. Eles auxiliaram o satélite com um painel de 1 W (watt) para a alimentação do rádio na

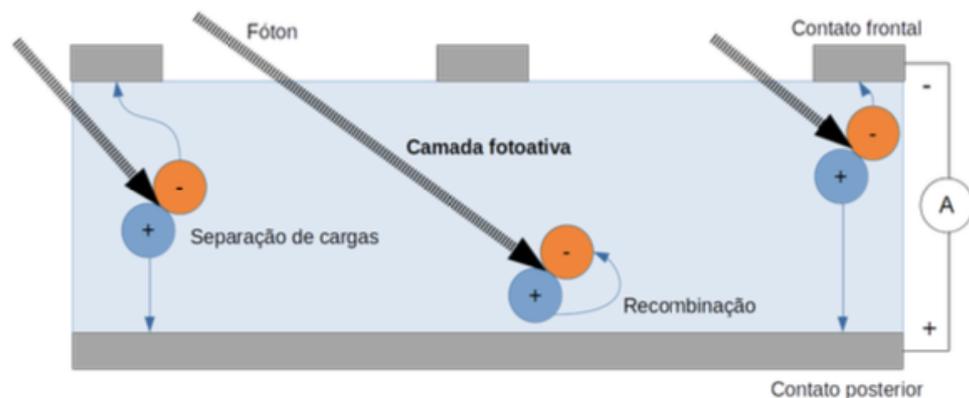
viagem. Além disso, também foram construídas as primeiras pacas solares para instalar em casas, estabelecimentos e meios de transportes (navio, avião e ônibus) (SOUZA et al., 2020).

São vários tipos de módulos fotovoltaicos, onde suas características são de conversão solar que vai variar de acordo com suas dimensões, tecnologias de fabricação e outros. Os módulos fotovoltaicos são compostos por células fotovoltaicas que convertem a energia do solar em energia elétrica (SOUZA et al., 2020).

Em Woburn, EUA, a empresa Magnolia Solar utiliza células solares com filmes finos oferecendo um custo mais baixo do que as células solares cristalinas. Com os filmes finos sua aplicação aumentam os efeitos quânticos em nanoestruturas para as células solares com eficiência mais elevada, porque utiliza-se materiais mais baratos com propriedades nano e microtecnológicas (HASAN; MARION, 2015).

As células solares funcionam através do efeito fotovoltaico, vindo da criação de uma tensão direta em um material semicondutor dopado, sendo as regiões eletricamente distintas quando expõe à luz. Esse fenômeno vem da geração, difusão e dissociação de uma excitação elementar pelo éxciton, se o material estiver em contato com o condutor, é coletado uma corrente elétrica chamada de fotocorrente, obtida da separação do éxciton e cargas livres (VASCONCELOS, 2020).

A figura 5 apresenta a ilustração do efeito fotovoltaico em um material semicondutor conectado aos terminais de ligação dos contatos condutores, onde nos dispositivos fotovoltaicos, parte dessa radiação é transmitida e a outra refletida e uma fração absorvida.

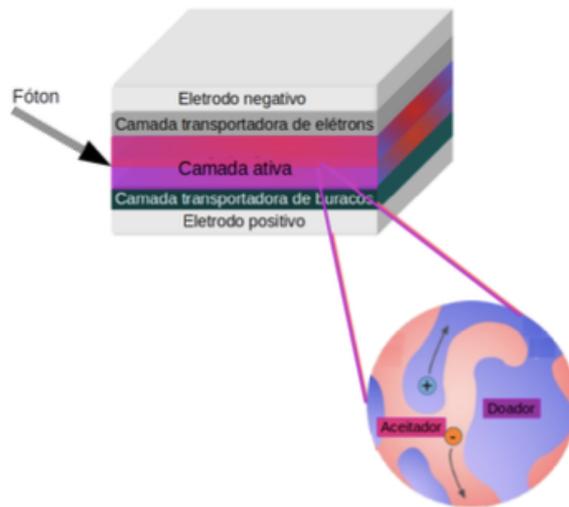


**Figura 5.** Ilustração do efeito fotovoltaico em um material semicondutor.  
Fonte: Vasconcelos (2020).

Células solares poliméricas são uma classe de dispositivos fotovoltaicos orgânicos caracterizadas pela geração de éxciton a partir da absorção de luz por polímeros, classificados

como conjugados e condutores. Esse dispositivo possui uma camada ativa que é composta por um polímero doador de elétrons (D), devido a existência de ligações pi ( $\pi$ ) alternadas e moléculas com aceitação (A) de elétrons. Essa relação se classifica como doador-aceitador similar a uma junção P-N e esses materiais orgânicos são caracterizados por orbitais (MIKHENKO; BLOM; NGUYEN, 2015).

A figura 6 apresenta a arquitetura de uma célula solar polimérica e sua estrutura de funcionamento dividida em cinco camadas, o eletrodo metálico com baixa função de trabalho como ouro ou prata para capturar os elétrons dissociados, o material transportador de elétrons, a camada ativa com a espessura ideal da ordem de algumas dezenas de centenas de nanômetros, abaixo de 100 nm aqui vai ocorrer a absorção óptica que contém o polímero e um derivado funcionalizado, a camada transportadora de buracos e o eletrodo que consiste em uma lâmina fina de vidro com uma fina camada de material condutor transparente depositado na sua superfície, como o óxido de índio (VASCONCELOS, 2020).



**Figura 6.** Arquitetura de uma célula solar polimérica com funcionamento dividida em cinco camadas.  
Fonte: Vasconcelos (2020).

Vasconcelos (2020) afirma ainda que a dopagem da camada ativa com nanopartículas magnéticas de ferrita por exemplo tende a contribuir consideravelmente o aumento da fotocorrente, tornando-se um importante objeto de estudo. O modelo exposto por Vasconcelos citado acima pode ser utilizado para estudos com nanopartículas de óxido de ferro e produzir um filme fino para a aplicação em células solares de terceira geração.

Outro modelo de células solares com aplicações tecnológicas e biodegradável são as células solares construídas por biomassas. Estes são cercados por numerosos precursores, a biomassa é a mais promissora por ser biodegradáveis devido ao seu baixo custo, renovabilidade,

abundância, respeito ao meio ambiente e dopagem natural de multi-heteroátomo, abrangendo o nitrogênio (N), enxofre (S), fósforo (P), entre outros (JING et al., 2019). Os avanços em sínteses de novos materiais de fontes biorrenováveis e sustentáveis faz com que pesquisadores há pouco tempo se concentraram nessa área devido às grandes preocupações com o meio ambiente, acumulação e destruição de resíduos, e o esgotamento inevitável dos recursos fósseis (ATES et al., 2020).

## 2.4 Polímeros Biodegradáveis

Polímeros são definidos como macromoléculas, sendo moléculas com alto peso molecular, formadas a partir da repetição de unidades químicas denominadas monômeros. Os polímeros podem ser de origem inorgânica, ou orgânica que são mais pesquisados para estudo e sua utilização é maior (SILVA; RABELO, 2017).

As propriedades dos polímeros dependem de seu conteúdo monomérico, estrutura e peso molecular, fazendo com que exista quatro categorias existentes e uma delas é os polímeros eletricamente condutores (PCs) (ASYRAF et al., 2017). Pois, desde a descoberta de PCs no século passado, vem gerando muitos estudos e utilizações em vários campos da eletrônica, óptica, medicina e dispositivos de energia (ZONG; HO; WUANG, 2015).

Quando se refere ao surgimento do polímero:

A utilização de polímeros surgiu como alternativa para modelagem da liberação de diferentes substâncias mediante o encapsulamento, buscando o prolongamento da propriedade desempenhada ou o incremento da eficiência da molécula de interesse. Com este propósito existem diferentes aplicações que vieram a se desenvolver na área medicinal, alimentícia, agrônômica e cosmética. Os polímeros naturais de origem vegetal e animal foram os primeiros veículos utilizados como transportadores de medicamentos. O baixo custo, biocompatibilidade, biodegradabilidade, estabilidade, baixa toxicidade e a obtenção por fontes renováveis favorece a combinação com diversas substâncias de interesse farmacêutico (SCHNEIDER 2018, p.4).

O polímero natural existente é a celulose por ser mais abundante, renovável e biodegradável. Novos materiais com base em celulose de dimensões nanométricas vêm se tornando atraentes, com um grande potencial para as diversas áreas (GUIMARÃES JUNIOR et al., 2017).

A preocupação com o meio ambiente vem aumentando a cada ano, mesmo porque depende de a humanidade cuidar e utilizar as fontes de produtos existentes no mundo, sendo

que se estimando o petróleo por exemplo é um bem finito, surge um novo campo com perspectivas incalculáveis de produção, assim, o Brasil nesse cenário dispõe posição privilegiada como produtor de polímeros naturais ou biodegradáveis (SILVA; RABELO, 2017).

As preocupações ambientais sobre o descarte dos resíduos sólidos, a sustentabilidade, a ecologia industrial, a biodegradabilidade e a reciclagem transformaram-se temas cruciais ao se pensa em novos materiais. O uso dos polímeros biodegradáveis, onde a degradação se inicia pela a ação de microrganismos, para aplicações industriais tem atraído cada vez mais atenção nas décadas atuais pelas preocupações ambientais e de que os recursos petrolíferos são finitos (NUNES, 2016).

Uma propriedade importante que aparecem nos sistemas nanométricos é a grande área de superfície por unidade de volume para distribuição reativa de cargas é uma vantagem em utilizar nanopartículas e óxido de ferro e nos polímeros condutores dopados e as partículas além de pequena o seu tamanho aumenta a taxa de difusão do metal em sua estrutura (ASYRAF et al., 2017). Deste modo inúmeros pesquisadores e cientistas estão tentando fazer nanocompósitos magnéticos ajustando as propriedades de materiais com concentração adequada de polímeros e funcionalizados com óxidos de ferro para atingir objetivos do material magnéticos com ampla largura banda de frequência (ALI et al., 2017).

Alguns dos principais polímeros naturais vegetais são a celulose, amido, pectina e algumas gomas (SILVA; RABELO, 2017). A celulose, um polissacarídeo orgânico e seus derivados é amplamente empregado como excipientes na forma sólida, pode ser considerada muito versátil, onde permite a produção fibras, nanocristais e micronanopartículas, possibilitando assim o encapsulamento e liberação de substâncias em uma grande extensão (SCHNEIDER, 2018).

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 polihidroxi-butilato (PHB) e poli butileno adipato co-tereftalato (PBAT) (SIQUEIRA et al. 2018).

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).

Outra aplicação é a misturas formadas por amido e poliácido lático (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).

Assim, com esse contexto, afirma-se que:

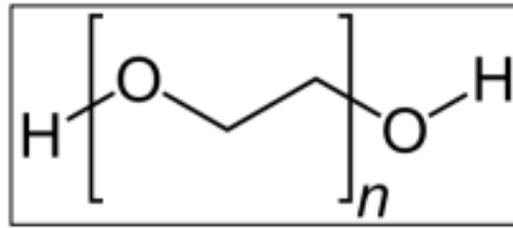
Na busca por novos materiais, percebeu-se que existe uma imensa variedade em matérias-primas na natureza e que vários produtos também podem ser sintetizados pelo homem a partir de insumos naturais. Nesse contexto, pesquisas apostam na substituição dos plásticos convencionais por plásticos biodegradáveis que atendam às exigências das indústrias. A ampla utilização de polímeros convencionais em uma grande diversidade de produtos, lembrando que a sua decomposição alonga-se de 100 a 500 anos, aumenta o nível de resíduos que agredem o meio ambiente, enquanto o plástico biodegradável possui degradação mais rápida. Vem crescendo a preocupação com o descarte de materiais no meio ambiente, e os polímeros biodegradáveis vêm ganhando atenção por serem facilmente degradados na natureza e também por serem produzidos a partir de fontes renováveis (SILVA; RABELO, 2017. p. 9).

#### 2.4.1 POLÍMEROS SINTÉTICOS

Estudos como o Ostapiv (2017), utiliza o polietileno tereftalato (PET) para revestir o bambu como uma forma de barreira e resistência mecânica desse polímero, ajudando na preservação dos colmos com uma proteção mecânica que impermeabiliza e reduz ataque de insetos.

O Polietilenoglicol (PEG) é um representativo polímero linear com propriedades físico-químicas e biológicas, com comportamento diferenciado em misturas com outros polímeros como no seu estado puro. É um polímero sintético não tóxico, obtém-se da polimerização de adição do óxido de etileno. Possui várias propriedades como a hidrofiliabilidade, solubilidade em água e solventes orgânicos, e a sua capacidade de reagir a anticorpos para uma resposta imunológica possibilita usar em aplicações biomédicas e biotecnológicas (MARIA, 2015).

A figura 7 apresenta a estrutura do polietilenoglicol (PEG), sendo um homopolímero sintético de adição e com cadeia linear, é um oligômero com massa molar variando de 400 e 800 g.mol<sup>-1</sup>.



**Figura 7.** Estrutura do Polietilenoglicol (PEG).  
Fonte: Maria (2015).

As propriedades do 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).

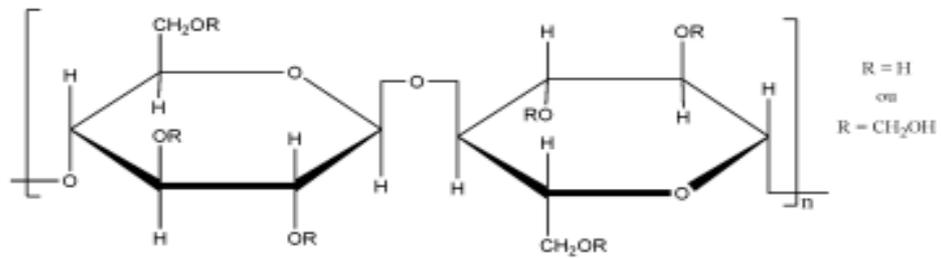
#### 2.4.2 POLÍMERO POLIELETRÓLITO

Polieletrólitos, chamados de poliões são polímeros que ao serem dissolvidos em solventes de alta polaridade como a água, desenvolvem uma quantidade de carga que provém de grupos ionizáveis distribuídos nas unidades monoméricas que compõe a cadeia macromolecular. As interações eletrostáticas ocorridas entre os grupos ionizáveis, também como outros eletrólitos, dar a classe de polímeros propriedades distintas das existentes nos polímeros neutros (WITT, 2012).

Santos (2013) afirma que: “Dentre os polieletrólitos naturais derivados da celulose se destacam a quitosana, um polication, e a carboximetilcelulose, um poliânion”.

Um dos papéis dos polieletrólitos podem ser aplicados em grande parte para modificar a reologia de uma solução, controlar o processo de agregação de partículas coloidais e alterar a natureza de superfícies por absorção. São obtidos sinteticamente através da polimerização de monômeros que têm grupos iônicos ou modificação química de polímeros naturais ou sintéticos neutros (WITT, 2012).

A figura 8 apresenta a Carboximetilcelulose (CMC), um exemplo conhecido de polieletrólito e sua estrutura química.



**Figura 8.** A unidade de repetição da Carboximetilcelulose (CMC) exemplo de polieletrólito.  
Fonte: Adaptado de Witt (2012).

A CMC, um sal de éter de celulose que se obtém através da reação de celulose com ácido monocloroacético na presença de hidróxido de sódio e etanol/água, pela reação de Williamson. Assim possuindo uma grande capacidade de formação de filmes, géis e hidrogéis para aplicação em diversas áreas como emulsificante, espessante, estabilizante e para a formação de filmes finos através de interação eletrostática (SANTOS, 2013).

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).

## 2.5 Nanotecnologia

A nanotecnologia é parte da ciência que lida com a manipulação da matéria em escala atômica e molecular é a nanociência, que possibilita agir no interior da matéria, mudando a estrutura alterando a disposição dos átomos que a compõe e encontrada em aplicações das nanotecnologias em diversos campos de conhecimento, como: biologia, medicina, informática, comunicação, segurança, meio ambiente, materiais de construção e transportes (PINHEIRO, 2015).

Segundo Rodrigues (2020, p.9), “A nanotecnologia procura assim, desenvolver ferramentas e técnicas para organizar átomos e moléculas de forma a obter materiais com propriedades bastantes específicas”. O termo Nanociência está ligado a aspectos básicos e Nanotecnologia a aplicações envolvendo fenômenos que ocorrem em escala nanométrica (ALBERTI, 2016).

Do lado tecnológico, o impulso para se desenvolver dispositivos nanométricos está na possibilidade de que informações poderão ser reunidas em dimensões cada vez menores (SAMPAIO, 2016). Richard Feynman em 1959, introduziu o conceito de nanotecnologia defendendo o caso de que não existe qualquer obstáculo teórico à construção de pequenos

dispositivos compostos por elementos muito pequenos, no limite atômico, nem mesmo o princípio da incerteza (RODRIGUES, 2020). Cientistas em meados do século XX apresentaram concepções e ideias visionárias sobre esse campo do conhecimento, mas só começariam a se tornar algo tangível na década de 80, que trouxe o desenvolvimento de microscópios de tunelamento e de força atômica, fazendo com que fosse permitido avanços no conhecimento e a manipulação de estruturas nanométricas das quais dimensões eram comparáveis às grandezas de átomos e moléculas (SAMPAIO, 2016).

Materiais nanoestruturados vêm 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). A nanotecnologia possui uma ligação entre a física moderna e contemporânea por poder compreender as estruturas dos materiais.

No final do século XX, a mecânica quântica começa a ser explorada experimentalmente de forma mais direta. Para Einstein o emaranhamento quântico parecia completamente absurdo, e nesse momento da história passou a ser visto não só como um enigma a ser decifrado, mas como uma ferramenta a ser utilizada, um recurso para novas tecnologias, ou seja, até a questão da transição do mundo quântico para o mundo clássico foi vista de outra forma (NELSON STUDART, 2016).

As estruturas nanométricas são consideradas estando na interface entre a física atômica e a molecular, onde a mecânica quântica a teoria mais adequada e capaz de descrever os fenômenos existentes, fazendo a física clássica de Newton perder seu espaço sob a visão destes tamanhos reduzidos (SAMPAIO, 2016).

A mecânica quântica é um dos ramos de pesquisa mais promissores quando se referencia as novas tecnologias e discussões teóricas na compreensão dos fenômenos físicos (MAIA FILHO; SILVA, 2019). Existe grande parte dos físicos e interessados em ciência no princípio da complementaridade de Niels Bohr com dualidade onda partícula e seu correspondente. Mas, ondas e partículas devem ser consideradas conceitos essencialmente clássicos para concepções humanas, não sendo preciso ser estendidos para o universo quântico (NELSON STUDART, 2016). Elétrons, fótons, átomos, moléculas são objetos quânticos relacionados pela mecânica quântica, sendo bastante diferente da mecânica clássica que descreve os fenômenos macroscópicos (NELSON STUDART, 2016).

O entendimento da mecânica quântica se deu:

Um grande avanço no entendimento conceitual da mecânica quântica veio com os trabalhos de John Bell, na década de 1960. Ele conseguiu mostrar que qualquer teoria de variáveis ocultas que seja realista e local deverá necessariamente fazer previsões que são diferentes das feitas pela mecânica quântica. Esse fato é comumente chamado, hoje em dia, de teorema de Bell. Como as previsões da mecânica quântica são corroboradas pelos experimentos, podemos concluir que tais teorias não existem (NELSON STUDART, 2016, p. 130).

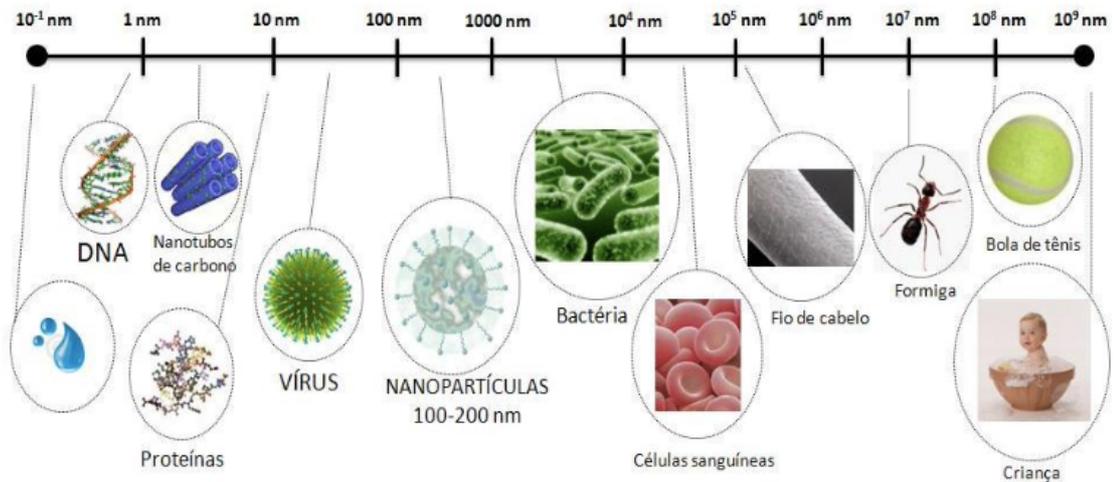
A aplicação da nanociência se conhece como a nanotecnologia que se relaciona aos nanomateriais (MARCONE, 2015) com aplicações nas diferentes áreas do conhecimento, por ser multidisciplinar e transdisciplinar sendo eles, na Física, Química, Biologia, engenharias entre outros (SANTOS et al., 2020).

## 2.6 Nanopartículas magnéticas

A ciência que trata o estudo dos materiais na escala nanométrica é a nanociência (ENGELMAN; HUPFFER, 2017) que é uma ciência multidisciplinar e transdisciplinar com múltiplas aplicações (KULKARNI, 2015) e correlaciona-se a nanomateriais.

O estado sólido de nanomateriais revelam interações complementares com sistemas por causa de suas escalas de tamanho nanométrico ajustáveis a propriedades elétricas, químicas e mecânicas (LIU et al., 2018). As nanopartículas magnéticas mostram diferentes características físicas, químicas e térmicas relacionados aos mesmos materiais em dimensões maiores por conta de a propriedade razão superfície-volume ser alta favorecendo a ligação de biomoléculas e átomos, já que elas exibem comportamento superparamagnético a temperatura ambiente (GIESE, 2018).

A figura 9 apresenta a escala nanométrica uma representação de alguns materiais que possuem seus tamanhos dentro da escala nanométrica destacando suas reais dimensões.



**Figura 9.** Escala nanométrica uma representação de objetos naturais e artificiais.  
Fonte: MORAES, 2015.

Constitui até o presente um desafio a ser estudado no comportamento da matéria na escala nanométrica, está relativamente grande para conter algumas dezenas ou centenas de átomos e extremamente pequena quando comparada a um objeto de aspecto macroscópico (SAMPAIO, 2016).

Contudo existem três desafios que são principais ao usar os nanomateriais, primeiro o dipolo-dipolo magnético causa forte atração entre as partículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  assim aglomerando, segundo o óxido de ferro na nanopartícula é facilmente oxidado ou dissolvido em meios ácidos e terceira é reciclar ou separar as nanopartículas com o tamanho tão pequeno, principalmente em meio contínuo (NISHIOKA; SEN, 2019).

Apresenta-se em diferentes tamanhos e formas os nanomateriais e também se diferem na sua composição e origem, dependendo 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 magnéticas podem ser aplicadas em diversas áreas como a medicina, biomedicina, biotecnologia, etc., ainda que, muito úteis em todo o seu plano de atividade também passam por obstáculos. Como por exemplo, o tamanho das partículas pode gerar alguns

problemas de estabilidade quando se pensa a longo tempo, tendem a aglomerar e senão realizar a cobertura com uma camada protetora podem oxidar. (RODRIGUES, 2020).

### 2.6.1 NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE FERRO

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”.

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).

Na crosta terrestre os óxidos de ferro são compostos abundantes, podem ser facilmente encontrados na natureza e sintetizados em laboratório. Dezesesseis tipos diferentes de óxidos são encontrados de hidróxidos e óxido – hidróxidos de ferro, que na atualidade o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  vem ganhando destaque devido ao seu baixo custo, não toxidade e fácil manipulação (JEZINI, 2015).

O óxido de ferro e nano-ferro magnéticos possuem grande potencial para aplicações com materiais alíticos, absorventes eficazes quando se remove inorgânicos ou orgânicos em fase líquida, pigmentos, em dispositivos de dados magnéticos, em biosseparação e medicina (NISHIOKA; SEN, 2019).

Frequentemente as nanopartículas possuem forma esférica com diâmetros entre 10 nm e 20 nm e dependendo do tratamento que foi submetido a área de superfície pode ser bastante variável, com valores de  $50 \text{ m}^2/\text{g}$  a  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$  (KROLOW et al., 2012).

Existem vários métodos de preparação de nanomateriais magnéticos de óxido de ferro entre elas a abordagem solvotérmica é uma das grandes significativas pelas condições compostas por múltiplos nanocristais magnéticos de domínio (SHEN et al., 2014).

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 biocampatíveis (SHEN et al., 2014).

O processo de síntese de nanopartículas magnéticas é complexo pela sua natureza coloidal, trazendo um desafio de definir uma rota experimental que proporcione uma dispersão dos grãos magnéticos com o tamanho adequado (ZANCHETTIN, 2020).

## 2.6.2 NANOCOMPÓSITOS MAGNÉTICOS

Os compósitos magnéticos e não magnéticos oferecem vantagens importantes no desenvolvimento de metodologia de sínteses e materiais inovadores em razão das suas excelentes propriedades, entre elas, facilidade de preparação, maiores propriedades mecânicas e alta estabilidade térmica (XU et al., 2020). Em partículas magnéticas os nanocompósitos magnéticos são obtidos usando fontes biorrenováveis que possuem vantagens significativas comparados aos compósitos convencionais (ATES et al., 2020).

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).

Os materiais novos com ampla gama de aplicações potenciais de cátions são os nanocompósitos magnéticos, por exemplo, aplicados em dispositivos de armazenamento de energia, dispositivos eletrônicos, sensores para administração de drogas e medicamentos e absorventes eficazes na separação em aplicações catalíticas (NISHIOKA; SEN, 2019).

Os méritos de nanocompósitos são para integrar os vários componentes e suas propriedades em um único material, no polímero magnético as sinergias orgânicas e inorgânicas adicionam novas propriedades que não podem ser alcançadas em um único componente (ZHU et al., 2013).

A relação das propriedades ópticas com o processo de sínteses é a forma que pode ser alcançada por meio de ajustes no procedimento de síntese (SANTOS et al., 2020), ou seja, a dependência de suas propriedades de absorção e emissão com seus tamanhos (HUANG et al., 2018). Logo, alterações sensíveis no tamanho das nanopartículas são responsáveis por modificações na energia de transição e alterações nas propriedades ópticas (SANTOS et al., 2020). Como também vários materiais sintetizados podem ser usados para suprimir a interferência eletromagnética (ALI et al., 2017).

Sintetizar nanopartículas além de ser um processo complexo devido a sua natureza coloidal, vem sendo desafiante encontrar condições experimentais que produzam uma população de partículas magnéticas monodispersas (RODRIGUES, 2020). Entretanto possui um grande mérito, pois são bastante integráveis com vários materiais e componentes pelas suas propriedades em um único material (NISHIOKA; SEN, 2019).

São vários tipos de rotas sintéticas para a síntese de nanocompósitos sendo elas impregnações, o precursor polimérico e moagem de bolas e síntese sol-gel, tendo em vista que mais de um método pode ser combinado em vários estágios para sua formação, como o solvotérmico, co-precipitação hidrotérmica e a combinação da redução de metal através do uso de um agente redutor (KROLOW et al., 2012).

As análises da composição e estrutura dos nanocompósitos se destacam as principais técnicas utilizadas, sendo elas, a microscopia eletrônica de varredura, espectroscopia fotoelétrons de raio-x, espectroscopia de energia dispersiva de raios-x, entre outras (KROLOW et al., 2012).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Tipo de estudo

A metodologia empregada é constituída pela aplicação experimental no Laboratório de Nanobiotecnologia do Complexo Bionorte da Universidade Federal do Acre – UFAC, assim como, demais instituições que temos parcerias de longa data sustentado com artigos científicos, que gerou conhecimentos para aplicações práticas a fim de solucionar a problemática da pesquisa e da sociedade.

#### 3.2 Procedimentos metodológicos

A pesquisa se desenvolveu em quatro grandes etapas, sendo:

- a primeira etapa, sintetizar o filme fino a base do bambu,
- na segunda etapa, funcionalizar o nanocompósito magnético a base de bambu,
- na terceira etapa, preparar o filme fino biodegradável funcionalizado com óxido de ferro para alcançar o objetivo principal do estudo e
- quarta etapa e última fase, propor o método para aplicações tecnológicas de nanomateriais magnéticos para apresentar eficiência de aplicação.

A figura 10 apresenta o fluxograma básico do estudo. No qual o objetivo geral é sintetizar e caracterizar nanopartículas magnéticas a base de bambu para aplicações tecnológicas.



**Figura 10.** Fluxograma do estudo.

Na dissertação foi realizada a síntese dos nanocompósitos magnéticos a partir do carvão ativado de bambu tipo *Guadua Weber-Baueri Pilger* foram realizados por processo solvotérmico seguindo a metodologia adaptada de Manrich, Martins e Mattoso (2021). Assim estudou-se os nanocompósitos magnéticos de óxido de ferro a base de bambu (polímero

biodegradável) para um filme fino biodegradável sintetizando e funcionalizando as nanopartículas de óxido de ferro tendo como base os estudos na área.

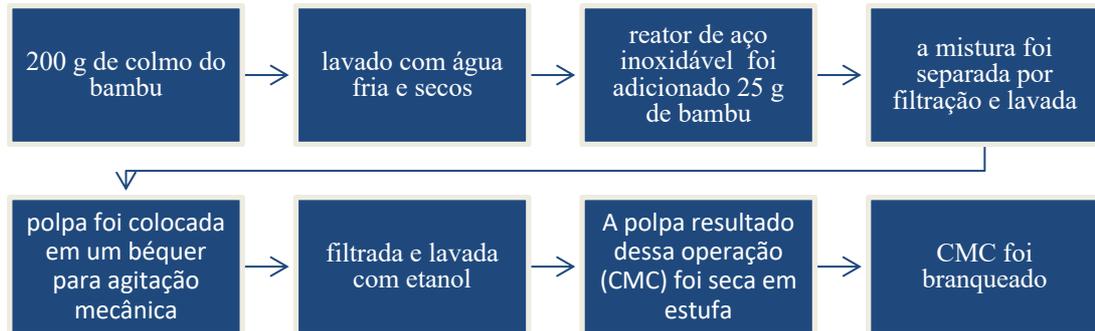
Desse modo, para construção do trabalho foram realizadas as preparações dos filmes finos pelos métodos químicos para a sintetizar com metodologia conhecida e posteriormente funcionalizar as nanopartículas magnéticas de óxido de ferro. Na caracterização foram realizados Ensaio de Tração, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS), os padrões de difração de raios-X (DRX), Potencial Zeta, Índice de Refração e Análise Termogravimétrica (TGA).

### **3.2.1 PREPARAÇÃO DA CARBOXIMETILCELULOSE - CMC**

Para obtenção da Carboximetilcelulose (pó do bambu produzido) denominado CMC a partir do bambu foi seguido o método de Machado (2000) com adaptações. Para iniciar, 200 g de colmo do bambu foi colocado em um recipiente com 4 litros de água aquecida a 70°C por 1 h em agitação mecânica para remoção dos compostos inorgânicos e, em seguida, lavado com água fria e secos em estufa a 80°C. Em um reator de aço inoxidável foram adicionados 25 gramas de bambu com uma solução de etanol/água na proporção de 1:1 (v/v) com licor-fibra de 11:1 (v/m).

Primeiramente, o reator foi aquecido a temperatura de 190°C e posteriormente deixou-se reagir por 1 h sob agitação constante. Em seguida o reator foi resfriado e a mistura foi separada por filtração em funil e a polpa lavada com etanol técnico. Em seguida as polpas foram colocadas em um béquer de 500 mL de capacidade juntamente com 200 mL de etanol e mantida sob agitação mecânica moderada durante 30 minutos, em seguida filtrada e lavada com etanol. A polpa resultado dessa operação (CMC) foi seca em estufa com circulação de ar a 50°C. Por fim, a CMC foi branqueada com solução de hipoclorito de sódio.

A figura 11 apresenta o esquema da preparação da CMC conforme mencionado.



**Figura 11.** Esquema da preparação da CMC adaptado de Machado (2000).

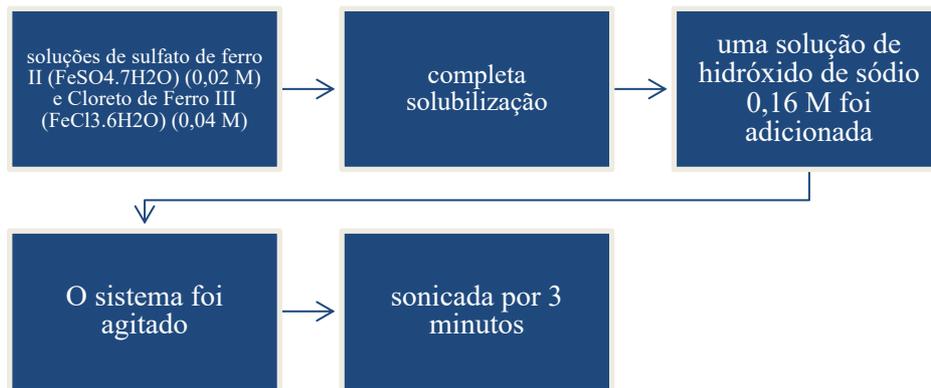
O Material para produção da CMC foi a matéria-prima o colmo do bambu, água fria, estufa, reator de aço inoxidável de 1 L, solução de etanol/água, licor-fibra, funil, etanol técnico, agitador mecânico, estufa, clorito de sódio fornecidos pelo Laboratório de Nanobiotecnologia do Complexo Bionorte da Universidade Federal do Acre.

### 3.2.2 SÍNTESE DA NANOPARTÍCULA DE FERRO

As Np-Fe foram sintetizadas utilizando um método adaptado de coprecipitação de íons  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$  em meio básico (KAUR et al., 2014). Foram preparadas previamente soluções de sulfato de ferro II ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (0,02 M) e Cloreto de Ferro III ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) (0,04 M) com água destilada, na proporção de 1:2 ( $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+}$ ) e misturadas com agitador mecânico a 500 rpm, IKA RW 20, por 5 minutos, até que se observou a completa solubilização.

Transcorridos esse tempo, uma solução de hidróxido de sódio 0,16 M foi adicionada instantaneamente ao sistema, no qual foram possíveis observar a mudança de coloração de laranja para preto, imediatamente. O sistema foi agitado por mais 15 minutos e logo em seguida a suspensão foi sonicada por 3 minutos, com 30% de amplitude e um pulso a cada segundo.

A figura 12 apresenta o esquema da síntese da nanopartícula de ferro realizada.



**Figura 12.** Esquema da síntese da nanopartícula de ferro adaptado de Kaur et al. (2014).

O material utilizado para a síntese das nanopartículas de ferro foi sulfato de ferro II (FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) (0,02 M) e Cloreto de Ferro III (FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O) (0,04 M) com água destilada, agitador mecânico e hidróxido de sódio fornecidos pelo Laboratório de Nanobiotecnologia do Complexo Bionorte da Universidade Federal do Acre.

### 3.2.3 PREPARAÇÃO DO FILME FINO

Realizou-se a preparação do filme fino e assim funcionalizar com óxido de ferro seguido o método de Fiori et al. (2014) com adaptações. Foi preparado um nanocompósito a base de bambu para verificação do filme puro com a biomassa estudada, o filme 1 com a solução de 0,5g de CMC com dispersão de 25 mL de H<sub>2</sub>O, a mistura ficou em agitação magnética por 24h. Após a agitação a solução do nanocompósito foi adicionada sobre a placa de petri (dimensão 90x15 mm vidro neutro com tampa de fundo plano). O filme ficou 72h na estufa incubadora a 45° C até a completa secagem com espessura de 5x10<sup>5</sup>nm.

Posteriormente, foram preparados seis nanocompósitos para funcionalizar com óxido de ferro (NPM) 1% (a) e 5% (b), utilizando o polietilenoglicol – PEG para uma melhor resistência e maleabilidade no material:

- a solução com 0,5 g de CMC, 2,5 % m/m de PEG com dispersão de 25 mL de H<sub>2</sub>O para os filmes 1 e 2,
- a solução com 0,5 g de CMC, 5 % m/m de PEG com dispersão de 25 mL de H<sub>2</sub>O para os filmes 3 e 4, e
- a solução com 0,5 g de CMC, 7,5 % m/m de PEG com dispersão de 25 mL de H<sub>2</sub>O para os filmes 5 e 6.

As misturas ficaram em agitação magnética por 24h. Após a agitação os nanocompósitos foram preparados com a adição do óxido de ferro (NPM) depositando 1% para os filmes assim designados, 1,3 e 5 e 5% para os filmes 2,4 e 6 no banho ultrassom por 1h. As soluções foram adicionadas sobre as placas de petri (dimensão 90x15 mm vidro neutro com tampa de fundo plano). Os seis filmes ficaram 72h na estufa incubadora a 45° C até a completa secagem com espessuras de  $5 \times 10^5 \text{ nm}$ .

A figura 13 apresenta o fluxograma da preparação dos filmes finos com a adição de NPM.



**Figura 13.** Fluxograma da preparação dos filmes fino com a NPM.

Os materiais experimentais para a preparação dos filmes finos foram: a carboximetilcelulose (CMC produzido do bambu), polietilenoglicol 6000 P.A. (PEG, MM =  $600 \text{ g mol}^{-1}$ ), água destilada ( $\text{H}_2\text{O}$ ), óxido de ferro ( $\text{F}_2\text{O}_3$  - nanopartícula magnética (NPM)), agitador magnético (Quimis), estufa incubadora (Quimis) e banho ultrassom (Quimis) fornecidos pelo Laboratório de Nanobiotecnologia do Complexo Bionorte da Universidade Federal do Acre. O PEG utilizado foi o polietilenoglicol 6000 P.A. (PEG, MM =  $600 \text{ g mol}^{-1}$ ) seu preço de 1000g é de R\$ 164,43.

### 3.2.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

No processo de síntese foi realizada a preparação dos filmes finos base de bambu utilizando o método solvotérmico e selecionar o filme que foi funcionalizado com óxido de ferro antes da caracterização.

A caracterização seguiu as seguintes análises:

- 1) Tração para o levantamento das propriedades mecânicas dos filmes finos,
- 2) Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) que permitiu obter informações das superfícies de várias amostras,
- 3) Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) forneceu uma análise de assinatura de absorção e emissão do elemento,
- 4) Difração de raios-X (DRX) que possibilitou ver as fases cristalinas do material,
- 5) Potencial Zeta onde foi determinado a carga elétrica na interface ou superfície da partícula assim como do diâmetro hidrodinâmico das nanopartículas,
- 6) Índice de Refração para verificação da luz refletida para a amostra do comprimento de onda, e a
- 7) Análise Termogravimétrica (TGA) onde realizou-se os ensaios térmicos para o material.

### 3.2.5 COLETA DE DADOS

Considerando as quatro etapas do estudo está estruturado da seguinte forma: etapa 1, etapa 2, etapa 3 e etapa 4 descritos na figura 14.



**Figura 14.** Desenho esquemático das quatro etapas do estudo.

Na etapa 1, considerando sintetizar o filme fino a base do bambu, se deu da seguinte forma:

- Preparou-se a biomassa do bambu Guada Weber-Bauer Pilger resultando na CMC;
- Preparou-se o filme fino a base do bambu utilizando o método de síntese solvotérmica;
- Analisou-se as preparações dos filmes finos a base de bambu;
- Apresentou-se os resultados obtidos por gráficos, imagens e demais.

Na etapa 2 e 3, atentando em preparar o filme fino biodegradável funcionalizado com óxido de ferro, se deu da seguinte forma:

- Sintetizou-se o óxido de ferro;
- Realizou-se os filmes finos biodegradáveis em base de bambu com reagentes plastificantes;
- Funcionalizou-se na preparação o filme fino biodegradável em base de bambu com óxido de ferro;
- Apresentou-se os resultados obtidos por gráficos, imagens e demais.

Na etapa 4, levando em consideração a caracterização do nanocompósito magnético a base de bambu, se deu da seguinte forma:

- Caracterizou-se o nanocompósitos magnéticos a base de bambu utilizando as análises de Tração, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS), os padrões de difração de raios-X (DRX), Potencial Zeta, Índice de Refração e Análise Termogravimétrica (TGA);
- Analisou-se os resultados dos processos de caracterização;
- Apresentou-se os resultados obtidos por gráficos, imagens e demais.

Todos os resultados das caracterizações realizadas foram tabulados com o software Origin 2021.

### **3.2.6 MÉTODO DE ANÁLISE EXPERIMENTAL**

#### **3.2.6.1 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 realizados no laboratório de Estruturas do Centro Universitário Uninorte.

Nos ensaios de tração seguiu-se a metodologia de Caruso (2015), então 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;
- $A_{cilindro}$  é a área do cilindro hidráulico, definida pelo equipamento utilizado de 6,5 cm<sup>2</sup>.

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,

- $\sigma$  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 cm<sup>2</sup>.

### 3.2.6.2 MISCROSCOPIA 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. As análises ocorreram na Universidade Federal de Alagoas junto com o Instituto Federal de Alagoas.

### 3.2.6.3 ESPECTROSCOPIA POR ENERGIA DISPERSIVA - EDS

Para a análise da determinação da composição química por Espectroscopia Dispersiva de Raios-X (EDS) foi utilizado o equipamento OXFORD INSTRUMENTS INCAx-act, modelo 51-ADD0007 no Laboratório Temático de Microscopia Ótica do Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas (LTMOE/INPA).

### 3.2.6.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X - DRX

Os difratogramas de raios X, para determinar o índice de cristalinidade das nanopartículas, foram obtidos em um difratômetro SHIMADZU modelo XR - 7000, usando radiação Cu-K $\alpha$  ( $\lambda = 0,154\text{nm}$ ) filtrada com Ni. As análises foram realizadas com tensão de 30kV e corrente de 30mA. O ângulo de incidência variou de  $2\theta = 5$  a  $70^\circ 2\theta$  com velocidade de  $2^\circ\text{min}^{-1}$  e resolução de  $0,02^\circ$ . As análises ocorreram na Universidade Federal de Alagoas junto com o Instituto Federal de Alagoas.

Seguiu-se os seguintes parâmetros: O Raio-X com voltagem 40.0 (kV) e corrente de 30.0 (mA), a digitalização com eixo de acionamento Theta - 2 Theta, intervalo de varredura de 5.000 – 80.00, modo de varredura é a varredura contínua, velocidade de varredura de 2.0000 (graus/min), passo de amostragem 0.0200 (graus) e tempo definido de 0.60 (seg). O percentual de cristalinidade dos filmes sintetizados foi tabulado com o software Origin 2021.

Foi realizado o cálculo de tamanho do cristalito obtida determinando a largura à meia altura dos picos de difração aplicando a formulação de Debye-Scherrer conforme a equação 3 orientado por Vasconcelos (2020) a posição foi determinada previamente a partir dos dados fornecidos pelo equipamento.

$$L = \frac{0,9\lambda}{\beta \cdot \cos\theta} \quad (3)$$

Onde,

- L é o tamanho do cristalito;
- 0,9 é definido pela constante para partículas em simetria cúbica consideradas esféricas;

- $\lambda$  é o comprimento de onda da radiação usada no difratômetro em nm, conforme especificado é 0,154 nm;
- $\beta$  é a largura do pico à meia altura do pico de difração;
- $\theta$  é o ângulo de difração (Bragg).

Pode haver uma superposição gaussiana no difratograma para a largura a meia altura do pico de difração experimental, seguindo a orientação de Panta (2013), o pico de difração B e o alargamento instrumental b deve ser calculado para encontrar  $\beta$  e assim evitar um erro instrumental, para o alargamento b utiliza-se uma amostra padrão de silício com orientação 100 e segue-se a equação 4 para o cálculo de  $\beta$ :

$$\beta^2 = B^2 - b^2 \quad (4)$$

Onde,

- $\beta$  é a largura do pico à meia altura do pico de difração;
- B é o pico de difração;
- b é o alargamento instrumental considerando igual a 100.

Para o cálculo da equação 4 será considerado para o pico de difração B o pico de maior intensidade mais bem definido obtido pelo equipamento.

### 3.2.6.5 TAMANHO E ESTABILIDADE DAS NANOPARTÍCULAS - ZETASIZER

O tamanho, o formato e quão estável eram as nanopartículas, foram observados em um equipamento Zetasizer modelo Nano – ZS90 da marca Malvern seguindo os parâmetros de Size (d.nm) com o percentual de volume, e o Zeta potencial (mV) pelo total. As análises ocorreram no Laboratório de Nanobiotecnologia do Complexo Bionorte da Universidade Federal do Acre.

Foram preparados uma amostra suspensa na solução líquida com uma concentração permitindo a diferença de potencial aplicada no coloide seja mensurada. Informações foram inseridas no setup do equipamento, como o meio a qual as nanopartículas estão suspensas e o tipo de cubeta, inseriu-se aproximadamente 1 mL da amostra na cubeta lacrando-a e seguindo para a análise do potencial zeta onde o equipamento aplica uma tensão sob o material.

### 3.2.6.6 ÍNDICE DE REFRAÇÃO

O índice de refração foi analisado pelo refratômetro ABBE digital, com escala de refração 1.3000-1.7000 ( $\pm 0.005$ ) BRIX 0-95% com compensação automática de temperatura (ATC), saída RS 232C- modelo: LAB WYA-2S. As análises ocorreram no Laboratório de Nanobiotecnologia do Complexo Bionorte da Universidade Federal do Acre, onde, foi realizado a dissolução dos filmes finos com a proporção de 0,04g de CMC em 2ml de água para a realização das análises no equipamento.

#### 3.2.6.7 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA - TGA

As análises térmicas (TGA e DSC) foram realizadas em um calorímetro Netzsch modelo Jupiter STA449 – F3 em uma atmosfera de nitrogênio com fluxo de 20.0 ml min<sup>-1</sup>, e taxa de aquecimento de 10.0 °C min<sup>-1</sup> até a temperatura final de 600.0 °C. A massa da amostra analisada foi de 20.0 mg, em cadinhos de oxido de alumina. As análises ocorreram no Laboratório de Nanobiotecnologia do Complexo Bionorte da Universidade Federal do Acre, em que, realizou-se o TGA para análises termogravimétrica e DSC para análises de calorimetria exploratória diferencial fornecidas pelo mesmo equipamento utilizado.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Será apresentado e discutido os resultados obtidos nesta dissertação. Primeiro aborda-se a preparação do filme fino biodegradáveis a base de bambu e os filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro referente a síntese do nanomaterial produzido (etapa 1). Em seguida os resultados das caracterizações realizadas nos filmes referentes as sínteses realizadas (etapa 2 e etapa 3). Por fim apresentar um novo material nanoestruturado com diversas aplicações tecnológicas (etapa 4).

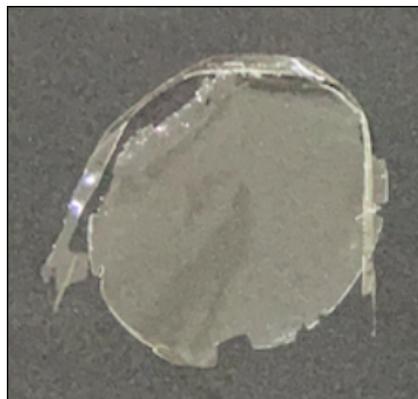
### 4.1 Preparação do filme fino

#### 4.1.1 FILME A BASE DE BAMBU

O resultado obtido da preparação do filme fino biodegradável a base de bambu está presente na figura 15. Foi realizado a preparação dos filmes finos com a CMC puro resultado da obtenção do Carboximetilcelulose (pó do bambu produzido) denominado CMC a partir do bambu foi seguido o método de Machado (2000) com adaptações.

Na preparação as soluções dos nanocompósitos foram adicionadas sobre as placas de petri com dimensão 90x15 mm vidro neutro com tampa de fundo plano e após a completa secagem obteve-se a espessura de  $5 \times 10^5$  nm.

Observa-se na figura 15, o filme fino sendo somente a CMC puro, apesar de apresentar traços quebradiços e um pouco maleável possui boa qualidade, não foi acrescido de agentes plastificantes, portanto tem-se um material pouco resistente e possui uma boa característica.



**Figura 15.** Filme fino biodegradável a base de bambu com 0,5g CMC.

Assim o polímero produzido com a CMC apresentou resistência podendo ser utilizado na adição de nanopartículas magnéticas, essa composição foi escolhida para a preparação dos filmes finos funcionalizados com óxido de ferro junto com um agente plastificante para adicionar maior resistência ao material, sendo ele o PEG.

O polímero biodegradável produzido a base de bambu para funcionalizar as nanopartículas de óxido de ferro tem grande potencial. Assim, conforme Wu, He e Jiang (2008) os materiais com revestimento de polímero se classificam em sintéticos e naturais.

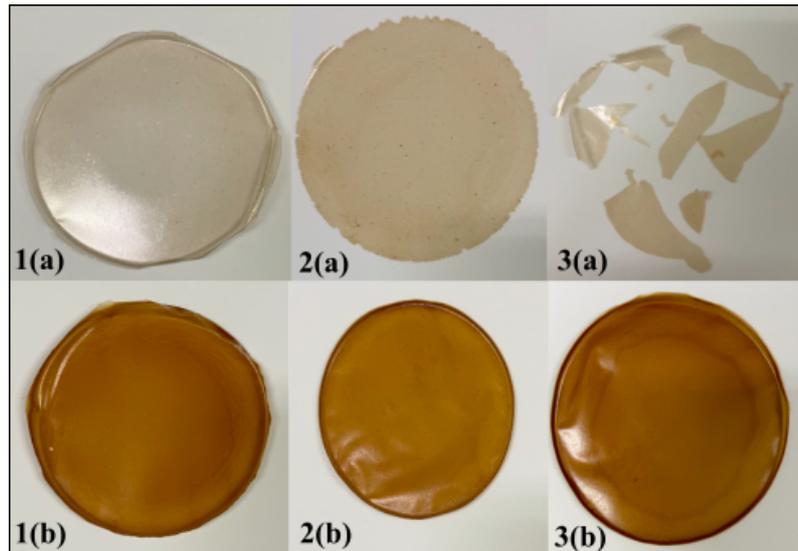
O uso da CMC um polieletrólito apresenta vantagens na preparação dos filmes, observou-se boa aderência. O autor Santos (2013) afirma que o uso de polieletrólitos é muito vantajoso na fabricação de filmes nanoestruturados, assim garante boa aderência e uma alta qualidade do filme, pelo efeito de interação eletrostática entre polieletrólitos de cargas positivas.

#### **4.1.2 FILMES A BASE DE BAMBU FUNCIONALIZADOS COM ÓXIDO DE FERRO**

Os resultados obtidos da preparação dos filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro estão presentes na figura 16. Foi preparado os filmes com CMC e as concentrações do polímero PEG (polímero sintético) e funcionalizando com as nanopartículas magnéticas (óxido de ferro).

Na preparação as soluções dos nanocompósitos foram adicionadas sobre as placas de petri com dimensão 90x15 mm vidro neutro com tampa de fundo plano e após a completa secagem obteve-se a espessura de  $5 \times 10^5$  nm.

Observa-se na figura 16 que os filmes 1(a), 2(a) e 3(a) utilizando as NPM de 1% apresentaram dispersão mais homogênea das NPM sobre a matriz polimérica. A adição do PEG 2,5%, 5% tornou o filme mais resistente e maleável, porém a adição de 7,5% de PEG o tornou bem quebradiço. Para os filmes 1(b), 2(b) e 3(b) utilizando as NPM de 5% constata-se que o nanocompósito magnéticos está pouco homogêneo com a mistura do óxido de ferro. Entretanto na presença do PEG 2,5%, 5% e 7,5%, este apresentou maior resistência.



**Figura 16.** Filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro. **1(a)** 0,5g CMC, 2,5% PEG e 1% de NPM; **2(a)** 0,5g CMC, 5% PEG e 1% de NPM; **3(a)** 0,5g CMC, 7,5% PEG e 1% de NPM; **1(b)** 0,5g CMC, 2,5% PEG e 5% de NPM; **2(b)** 0,5g CMC, 5% PEG e 5% de NPM; e **3(b)** 0,5g CMC, 7,5% PEG e 5% de NPM.

Preparou-se a CMC com o polímero derivado do petróleo o PEG em três concentrações 2,5%, 5% e 7,5% e observou-se que o PEG os tornou filmes mais resistentes e maleáveis e não quebradiços. Assim os filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro preparados com a CMC, PEG (2,5%, 5% e 7,5%) e óxido de ferro (5%) foi o que apresentou as melhores características na sua síntese observando os resultados obtidos (ver figura 16 1(b), 2(b) e 3(b)).

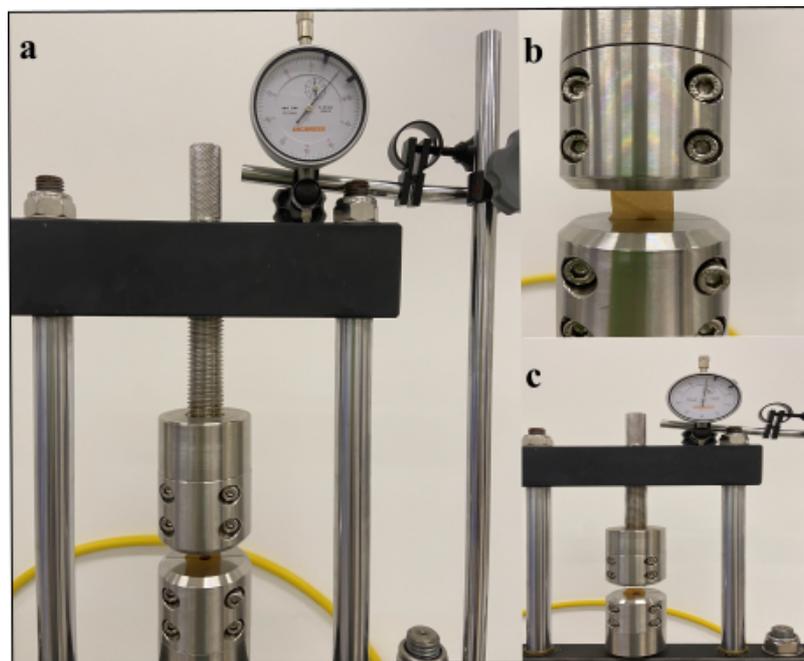
Wu, He e Jiang (2008) afirma que a síntese de nanopartículas de óxido de ferro apresenta sínteses eficientes com produções estáveis, biocompatíveis, monodispersos com forma controlada e alta qualidade. Assim a síntese envolverá oxidação controlada de  $Fe_3O_4$  (magnetita) e no processo solvotérmico os íons serão adicionados a uma solução contendo uréia, acetato ou citrato de sódio conforme orientado por Giese (2018).

## 4.2 Caracterização

Os filmes finos preparados foram caracterizados para verificação de cristalinidade, obtenção de informações da superfície, a carga elétrica na interface da superfície e o diâmetro da nanopartícula utilizada para funcionalizar, entre outras.

### 4.2.1 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 17 apresenta o ensaio realizado na Máquina Universal de Ensaio Mecânicos Destrutivos, observa-se um dos ensaios realizados para exemplificar o funcionamento, 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 17.** 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 ao escoamento mais elevada sob carga compressiva quando comparados às cargas trativas, em função do arranjo entre macromoléculas poliméricas e seu comportamento à deformação, estas características só podem ser quantificadas se ensaios que incorporem carregamento compressivo forem realizados.

A tabela 3 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.

Medidas	FILMES FINOS	Força que o cilindro imprimi no filme fino (F) em daN	Tensão normal ( $\sigma$ ) em MPa
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

**Tabela 3.** Resultados dos ensaios de tração nos filmes finos com o valores de força que o cilindro imprimi no filme fino (F) e a tensão normal ( $\sigma$ ).

Os resultados obtidos na tabela 3 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.

#### 4.2.2 ANÁLISES MEV

Com as análises MEV obteve-se as informações das superfícies do filme fino biodegradável a base de bambu e dos filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro.

##### 4.2.2.1 Filme a base de bambu

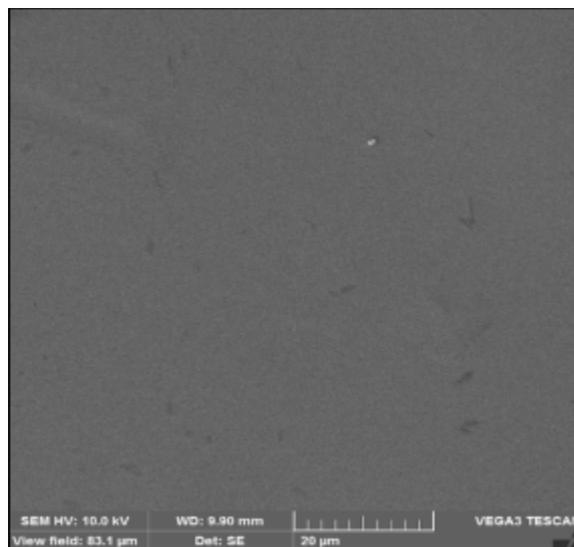
Foi realizado a análise MEV no filme a base de bambu verificando sua superfície de acordo com a caracterização do equipamento utilizando a medida de 20  $\mu\text{m}$ .

A figura 18 apresenta MEV no filme 1 CMC puro. 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.

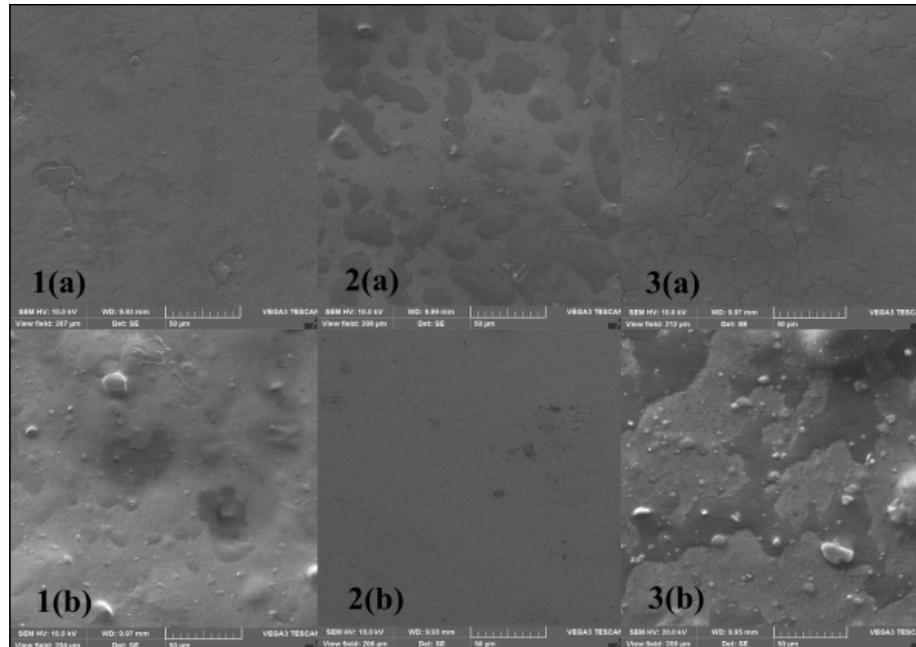


**Figura 18.** MEV nos filmes finos biodegradáveis a base de bambu da CMC com a medida de 20  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2.2.2 Filmes a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro

A figura 19, na síntese foram preparados seis filmes com concentrações diferentes de PEG e adicionados NPM de 1% (1(a), 2(a) e 3(a)) e 5% (1(b), 2(b) e 3(b)), 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 alguns nanômetros o material ainda está bom.



**Figura 19.** MEV nos filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro. **1(a)** CMC + PEG 2,5% + NPM 1% medida 50  $\mu\text{m}$ ; **1(b)** CMC + PEG 2,5% + NPM 5% medida 50  $\mu\text{m}$ ; **2(a)** CMC + PEG 5% + NPM 1% medida 50  $\mu\text{m}$ ; **2(b)** CMC + PEG 5% + NPM 5% medida 50  $\mu\text{m}$ ; **3(a)** CMC + PEG 7,5% + NPM 1% medida 50  $\mu\text{m}$ ; **3(b)** CMC + PEG 7,5% + NPM 5% medida 50  $\mu\text{m}$ .

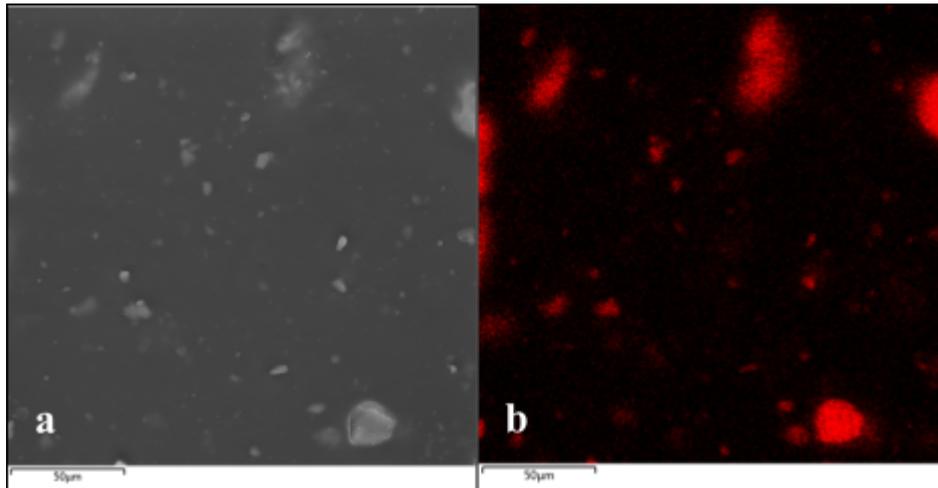
Para Silva (2018) a adição do plastificante PEG apresenta eficiência na permeação de vapores nos filmes. Os autores Silva et al. (2018) afirmam que as nanopartículas modificam a estrutura do filme que forma grânulos esféricos de tamanho 20nm, mas elas estão de forma homogênea no substrato.

#### 4.2.3 ANÁLISE EDS

Foi realizado as análises EDS onde obteve-se 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  $\mu\text{m}$ .

A figura 20 é o resultado da análise química realizada na amostra emitidos como resultado das colisões, 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

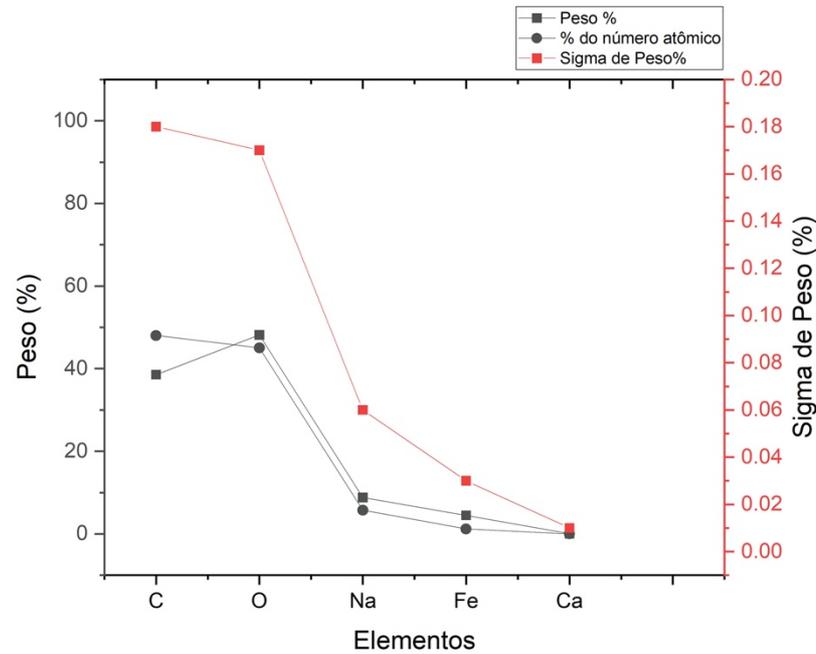
representação da superfície do filme fino onde a uma homogeneidade de sua superfície a uma aderência das NPM no material, em (b) observa-se a mesma superfície destacam-se só a presença do óxido de ferro ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) no filme fino analisado, conclui-se que as nanopartículas magnéticas apresentam na sua superfície um aglomerado em alguns pontos (destaque em vermelho) de algumas nanômetros dispersos não saindo da condição de homogeneidade.



**Figura 20.** Resultado da superfície com o EDS no filme fino biodegradável a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro. (a) superfície do filme fino; (b) CMC + PEG 2,5% + NPM 5% medida 50 µm.

Observa-se os aglomerados das partículas de forma esférica no filme fino da figura 20 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 das interfaces com o meio.

Apresenta-se na figura 21 os resultados do EDS onde mostra os valores encontrados do percentual peso e do número atômico de peso 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.



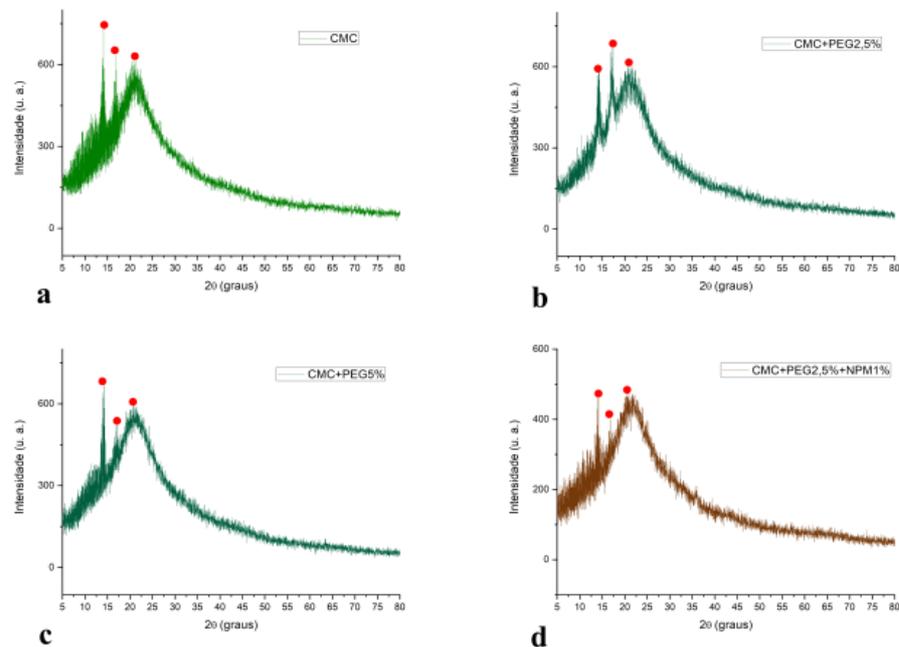
**Figura 21.** Resultados do EDS.

Contata-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.

#### 4.2.4 ANÁLISES DRX

A fase cristalina dos filmes sintetizados foi detectada na difração de raios X (DRX), observa-se a intensidade pelo grau de cada material analisado. Os filmes analisados nessa etapa foram a CMC puro, CMC com PEG 2,5%, CMC com PEG 5%, CMC com PEG 2,5% funcionalizado com 1% de NPM, CMC com glicerina 10% e CMC com PVP 5%.

A figura 22 apresenta se o resultado de quatro filmes 10(a) CMC puro, 10 (b) CMC com PEG 2,5%, 10(c) CMC com PEG 5% e 10(d) CMC com PEG 2,5% funcionalizado com 1% de NPM).



**Figura 22.** DRX nos filmes finos biodegradáveis a base de bambu. (a) CMC; (b) CMC + PEG 2,5%; (c) CMC + PEG 5%; (d) CMC + PEG 2,5% + NPM 1%.

Observa-se a figura 22 (a) que as curvas de difratogramas apresentam picos de  $2\theta$  de  $14,1\theta$  com intensidade 732 u.a., e pico de  $2\theta$  de  $16,8\theta$  com intensidade 634 u.a. e pico de  $2\theta$  de  $20,9\theta$  com intensidade 614 u.a., na figura 22 (b) pico em  $14,18\theta$  com intensidade 580 u.a., e pico em  $17,34\theta$  com intensidade 664 u.a. para a curva pico de  $2\theta$  de  $20,74\theta$  com intensidade 612 u.a., a figura 22 (c) pico de  $14,18\theta$  com intensidade 666 u.a. e pico de  $2\theta$  de  $16,9\theta$  com intensidade 522 u.a., a figura 22 (d) pico  $14,2\theta$  com intensidade 460 u.a. e pico de  $2\theta$  de  $16,88\theta$  com intensidade 400 u.a., onde a NPM intensificou-se os picos ao longo da curva de  $2\theta$  de  $20,82\theta$  com intensidade de 460 u.a. Assim, o filme com a NPM 1% ficou estável em seus picos ao longo da curva fazendo com que sua cristalinidade seja equiparada com a do filme só CMC da figura 22 (a).

Santos (2013) analisou que nas curvas que resulta da CMC observe 3 picos de difração de raio X de  $14,9\theta$ ,  $22,6\theta$  e  $34,5\theta$ . Para Zanchettin (2020) quanto maior a temperatura no método solvotérmico maior vai ser a intensidade dos picos e menor o alargamento, sendo possível concluir que a maior temperatura de síntese maior será a cristalinidade das nanopartículas. Domelas et al. (2008) afirmam que em previsão o grande número de massa do polímero nota-se um aumento do seu espaço evidenciando a formação do nanocompósito.

Observa-se então na cristalinidade houve um decréscimo em todos os filmes analisados, não chegando a possuir um acréscimo, isso ocorreu por conta da influência das outras fontes

como o PEG e a NPM. De acordo com os autores Laycock et al. (2013), a cristalinidade igual ou maior de 50% considera-se elevada e prejudicial para aplicações em indústrias e comércios.

Todos os filmes possuem a adição do PEG com isso observou-se uma característica com os picos. Para Maria (2015) quando se analisa o PEG pela difração de raios X, caracteriza o polímero semicristalino apresentando picos característicos de  $2\theta$  em 19 e 23,5°.

Para a análise da estimativa do tamanho médio das nanopartículas magnéticas a partir dos picos dos difratogramas, foram calculados pela equação de Debye-Scherrer. A tabela 4 apresenta os resultados obtidos onde foi possível calcular o diâmetro do cristalito obtendo-se os valores para os filmes finos com óxido de ferro analisados no DRX, nota-se que o tamanho do cristalito para a amostra 4 é de 3,65 nm pois temos a presença da nanopartícula magnética de 1% e pode-se ter aglomerações o que ocorrem em alguns pontos do filme fino, mesmo assim ainda está em concordância com o tamanho do óxido de ferro utilizado até 10 nm.

AMOSTRAS	FILMES FINOS	$\beta^{2*}$	L**
1	CMC	1,34	1,1
2	CMC + PEG5%	1,12	1,32
3	CMC + PEG2,5%	1,32	1,12
4	CMC + PEG2,5% + NPM1%	4,06	3,65

**Tabela 4.** Tamanho do cristalito para as amostras analisadas pelo DRX. \*largura do pico à meia altura do pico de difração em nm, \*\* tamanho do cristalito em nm.

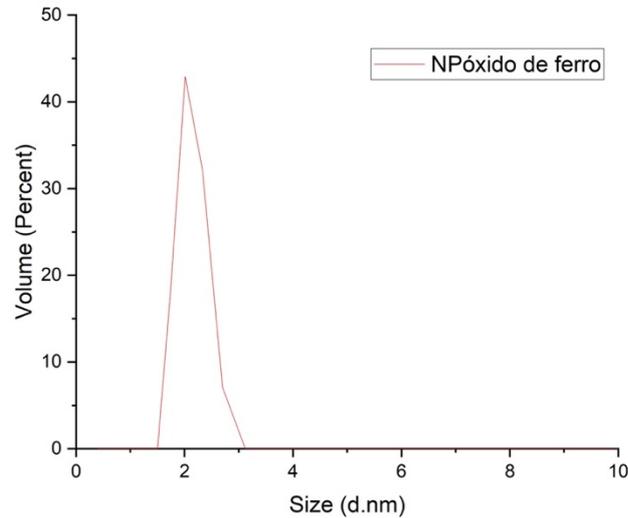
Por exemplo conforme afirma Coelho (2011), o tamanho do cristalito pra amostras de magnetita foi 12,9 nm e maghemita foi de 15,4 nm. Como a ambas apresentam menores tamanhos de partículas apresentam melhores propriedades magnéticas.

Durante a síntese pode ocorrer processos de nucleação e crescimento do grão das nanopartículas, Souza Neto (2012) explica que bases fracas em relação ao óxido de ferro favorecendo o crescimento do cristal e ocorrendo cristalitos maiores, bases fortes forma um maior número de núcleo e desfavorece o crescimento do cristal, assim tem-se cristalitos menores.

#### 4.2.5 ANÁLISES POTENCIAL ZETA

As nanopartículas magnéticas utilizadas na síntese do filme a base de bambu foi o óxido de ferro e para verificação do tamanho da partícula e o potencial foi realizado o Size e Zeta no óxido de ferro utilizando o instrumento Zetasizer.

A figura 23 apresenta a análise Size do óxido de ferro, as partículas ficaram entre 1 e 10 nm com o centro do pico da curva em 2,01 nm (de 1,5 a 3,12 nm) e um percentual de volume de 42,9%.



**Figura 23.** Análise size no óxido de ferro para o tamanho da nanopartícula.

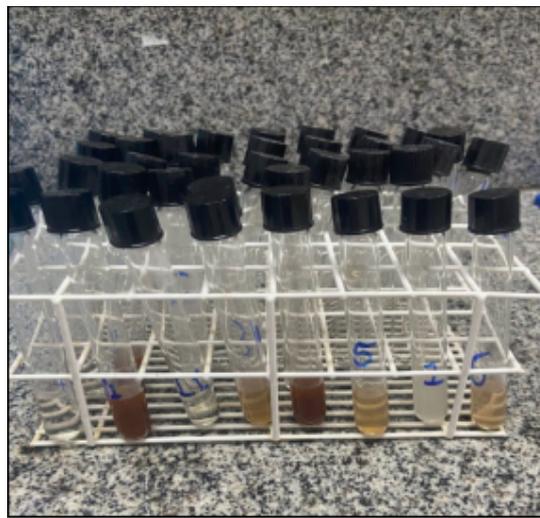
A análise zeta do óxido de ferro, as partículas com potencial de referem a carga elétrica na superfície da nanopartícula com o líquido, ligado a estabilidade das dispersões coloidais. Obteve-se o potencial Zeta Np-Fe de -31mV apresentando um potencial satisfatório, pois quanto mais longe de zero o resultado melhor seu potencial.

Barbosa (2019) apresenta que quanto maior for a carga superficial das partículas mais afastadas estarão, pois, as forças atrativas são menores impedindo ou diminuindo a agregação das nanopartículas. E para Shigeyosi (2017) descreveu em seu trabalho que da eletrostática se o potencial zeta for abaixo de  $|30\text{mV}|$  a atração excederá a repulsão, então o coloide tende a precipitar dependendo do pH.

Sobre a estabilidade não importa muito se o potencial é negativo ou positivo, e sim a magnitude. É importante o valor das cargas quando se quer funcionalizar a superfície das nanopartículas, ou seja, a afinidade eletrônica. Exemplo, se for negativar a superfície da nanopartícula fica viável ligar a um revestimento positivo e vice-versa. Um fator que influencia no potencial zeta é a condutividade do material, quanto maior é a força iônica, maior é a compressão da dupla camada elétrica, que está ligado a concentração de cada componente da amostra (SHIGEYOSI, 2017).

#### 4.2.6 ÍNDICE DE REFRAÇÃO

Foi realizado as análises do índice e refração, utilizou-se a dissolução dos filmes finos com a proporção de 0,04g de CMC em 2ml de água para a realização das análises no refratômetro. Os filmes finos dissolvidos (figura 24) foram os da seguinte composição: CMC+H<sub>2</sub>O, CMC + H<sub>2</sub>O + PEG 2,5% + NPM 1%, CMC + H<sub>2</sub>O + PEG 5% + NPM 1%, CMC + H<sub>2</sub>O + PEG 7,5% + NPM 1%, CMC + H<sub>2</sub>O + PEG 2,5% + NPM 5%, CMC + H<sub>2</sub>O + PEG 5% + NPM 5% e CMC + H<sub>2</sub>O + PEG 7,5% + NPM 5%.



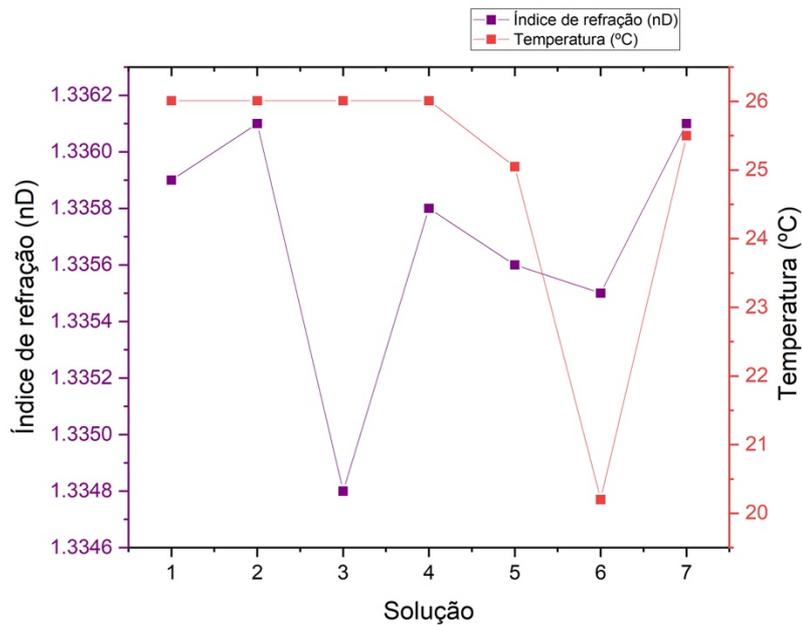
**Figura 24.** Filmes solúveis para análise do índice de refração.

Os filmes finos dissolvidos foram analisados em três testes pelo refratômetro para obter melhores resultados, nomeou-se os filmes fino como apresenta-se na tabela 5, o índice de refração assim como a temperatura foram analisados e observa-se que para as três análises obteve-se resultados parecidos e aproximados. Cada medição foi realizada três vezes assegurando a repetibilidade da resposta.

AMOSTRAS	SOLUÇÃO	ÍNDICE DE REFRAÇÃO nD			TEMPERATURA °C		
		Medição 1	Medição 2	Medição 3	M1	M2	M3
1	CMC+H <sub>2</sub> O	1,3359	1,3358	1,3359	26,01	26,00	26,10
2	CMC+H <sub>2</sub> O+PEG 2,5%+NPM 1%	1,3361	1,3362	1,3360	26,01	26,02	26,20
3	CMC+H <sub>2</sub> O+PEG 5%+NPM 1%	1,3348	1,3349	1,3349	26,01	26,02	26,20
4	CMC+H <sub>2</sub> O+PEG 7,5%+NPM 1%	1,3358	1,3358	1,3358	26,01	26,00	26,10
5	CMC+H <sub>2</sub> O+PEG 2,5%+NPM 5%	1,3356	1,3355	1,3367	25,05	25,90	26,00
6	CMC+H <sub>2</sub> O+PEG 5%+NPM 5%	1,3355	1,3355	1,3355	20,20	26,20	26,20
7	CMC+H <sub>2</sub> O+PEG 7,5%+NPM 5%	1,3361	1,3361	1,3361	25,50	25,50	25,50

**Tabela 5.** Índice de refração e temperatura das três respostas obtidas.

Observa-se na figura 25 os resultados tabulados que a temperatura se apresentou constantes para todas as amostras, apenas a número 6 ficou em 20,2°C por causas externas na hora da análise, verifica-se que para as outras duas análises nessa amostra temperatura ficou de 26,2°C, e os índices de refração variou conforme a concentração do PEG, mais com a nanopartícula de ferro não variou, essas variações ocorreram para as amostras 3 com 1,3348 e amostra 6 com 1,3355.



**Figura 25.** Índices de refração e temperaturas das amostras 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. **1** - CMC+H<sub>2</sub>O; **2** - CMC + H<sub>2</sub>O + PEG 2,5% + NPM 1%; **3** - CMC + H<sub>2</sub>O + PEG 5% + NPM 1%; **4** - CMC + H<sub>2</sub>O + PEG 7,5% + NPM 1%; **5** - CMC + H<sub>2</sub>O + PEG 2,5% + NPM 5%; **6** - CMC + H<sub>2</sub>O + PEG 5% + NPM 5%; **7** - CMC + H<sub>2</sub>O + PEG 7,5% + NPM 5%.

A variação do PEG observada em algumas amostras ficou entre 1,3348-1,3355 pode-se ocorrer pela sua densidade. Maria (2015) afirma que o PEG ao apresentar densidade de 1,125 g.cm<sup>-3</sup>, o seu índice de refração (n) está variando entre 1,458-1,461.

Para Costa (2018) o efeito da variação do índice de refração foi estudado e fica em torno de 1,3421 e 1,4133, é conhecido que a detecção de variações de índice de refração para depois da terceira ou quarta casa decimal não é viável, se deseja-se detectar essa variação deve-se utilizar outros componentes e equipamentos para permitir a detecção na quinta ou sexta casa decimal.

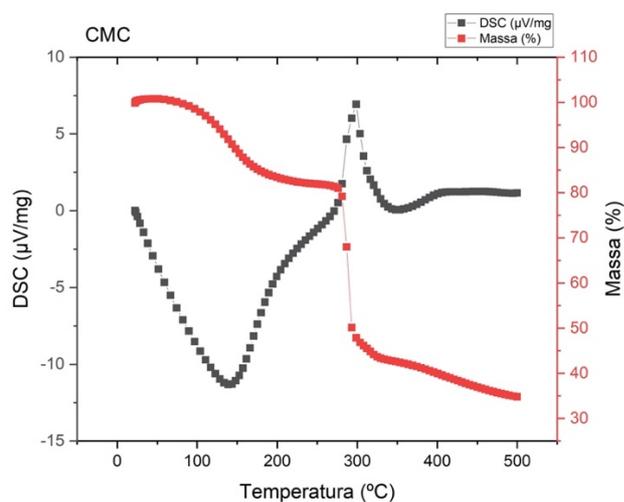
#### 4.2.7 ANÁLISES TGA

Foram realizadas as análises termográficas (TGA) pela técnica da análise térmica que se obteve a variação da massa com perda ou ganho determinada em função da temperatura a qual os filmes finos foram submetidos a uma programação controlada de temperatura e DSC a calorimetria exploratória diferencial. Os filmes analisados foram o filme fino biodegradável a base de bambu e os filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro.

#### 4.2.7.1 Filme fino a base de bambu

Realizou-se o TGA para medir a variação da massa em função da temperatura na atmosfera controlada pelo programa de aquecimento e também o DSC que mediu a diferença de energia conforme o programa de aquecimento e resfriamento sob a atmosfera controlada do equipamento.

A figura 26 apresenta a análise TGA e DSC para o filme fino biodegradável a base de bambu com temperatura a partir de 0°C, o filme designado CMC+H<sub>2</sub>O, o TGA observa-se a perda de massa de 10% na temperatura de 150°C, isso se deu devido a uma perda de água do polímero. Houve uma perda de massa de 50% a uma temperatura de 298°C pelo processo de degradação da CMC. Para o DSC a curva apresenta as transições de primeira e segunda ordem, onde em  $-11,3\mu\text{V}/\text{mg}$  na temperatura de 135°C com uma variação de entalpia, o surgimento de um pico de  $6,9\mu\text{V}/\text{mg}$  na temperatura de 298°C para a variação de capacidade calorífica.



**Figura 26.** Análise TGA, DSC da CMC.

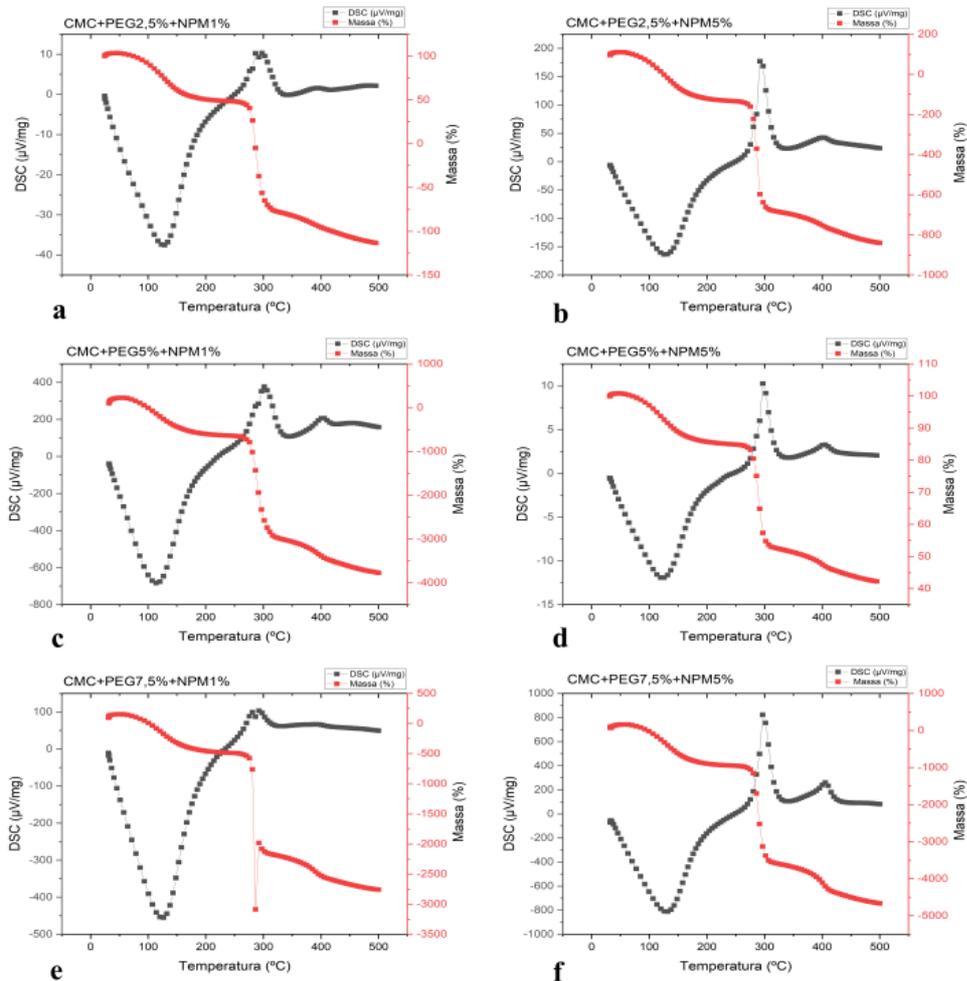
Oliveira (2013) confirma que as amostras com uma perda de massa na faixa de 10 a 15% para até uma temperatura de 150°C vem devido à perda de água que se encontra no polímero preparado de CMC, nas temperaturas entre 220–330°C se tem uma perda de massa de aproximadamente 60% devido ao processo de degradação da CMC, como despolimerização, desidratação e decomposição de unidades glicosídicas seguidas da formação de resíduos de carbono. Para o DSC em celulose as curvas comuns apresentam um evento endotérmico entre 25 e 100°C atribuído a dissorção de moléculas de água presentes na estrutura polissacarídica e o pico endotérmico largo em torno de 350°C atribuído a decomposição térmica da celulose.

#### 4.2.7.2 Filmes a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro

A figura 27 apresenta a análise TGA e DSC para os filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro, observa-se os seis filmes com concentrações diferentes de PEG e adicionados NPM de 1% (a, c, e) e 5% (b, d, f), O TGA observa-se a perda de massa de 10% na temperatura de 150°C, isso se deu devido a uma perda de água do polímero para todos os filmes finos onde a presença das nanopartículas magnéticas, houve uma perda de massa de 50% a uma temperatura de 298°C pelo processo de degradação da CMC e PEG, al final da curva a uma tendência de reta, uma estabilização onde apresenta o valor da massa do óxido de ferro presente nos filmes finos, sendo de 42,2% da perda de massa.

Apenas no filme fino em (e) na figura 27 a perda de massa é de 50% a uma temperatura de 298°C pelo processo de degradação da CMC junto ao PEG no momento que foram submetidos a uma programação controlada de temperatura.

O DSC para todos os filmes finos onde a presença das nanopartículas magnéticas a curva apresenta as transições de primeira e segunda ordem foram semelhantes na figura 27 com temperatura a partir de 0°C, onde em -11,3 $\mu$ V/mg na temperatura de 135°C com uma variação de entalpia, o surgimento de um pico de 6,9 $\mu$ V/mg na temperatura de 298°C para a variação de capacidade calorífica.



**Figura 27.** Análise TGA, DSC dos filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro. **(a)** CMC + PEG 2,5% + NPM 1%; **(b)** CMC + PEG 2,5% + NPM 5%; **(c)** CMC + PEG 5% + NPM 1%; **(d)** CMC + PEG 5% + NPM 5%; **(e)** CMC + PEG 7,5% + NPM 1%; **(f)** CMC + PEG 7,5% + NPM 5%.

O autor Shigeyosi (2017), afirma que a evaporação da água fica em torno de 100°C enquanto as cadeias de carbono evaporam na faixa de 200-450°C e ao final da curva de termogravimetria existe a tendência da curva se estabilizar aproximando de uma reta, onde a curva se estabiliza, sendo possível obter o valor da massa correspondente ao óxido de ferro presente na amostra.

Há duas perdas de massa conforme Souza Neto (2012) confirma, a primeira para amostra com óxido de ferro magnético ocorre em temperaturas entre 25 e 111°C atribuída a liberação de água fisicamente absorvida nas partículas, a segunda perda ocorre em temperaturas entre 180 e 440°C associada a transição da fase magnetita para magnemita, que ocorre em altas temperaturas onde a mudança nas propriedades magnéticas, em que a magnetita é um óxido de ferro ferrimagnético e a hematita é antiferromagnética.

### 4.3 Proposta de aplicação

A proposta de aplicação foi baseada nos resultados obtidos e nas possíveis análises que podem ser realizadas para aplicar os filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro em placas solares para geração de energia solar.

Com os resultados obtidos da preparação dos filmes finos com a CMC com o polímero derivado do petróleo o PEG em três concentrações, observou-se que o PEG os tornou filmes mais resistentes e maleáveis e não quebradiços, e ao funcionalizar com óxido de ferro (5%) foi o que apresentou as melhores características na sua síntese. Voltado ao lado magnético seria possível aplicar em células solares com uma possível condutividade boa com análises mais profundas em sua aplicação.

Para Ribeiro (2009) o estudo de condutividade deve ser realizado utilizando a técnica de fotossensibilidade, é uma das propriedades mais importantes quando estuda a razão entre a fotocondutividade e a condutividade, tornando indicado esta propriedade para a utilização em células solares e outras aplicações, onde os filmes com pequenas espessuras absorvem grande parte da luz incidente aumentando a condutividade elétrica em várias ordens de grandeza. A proposta de estudar esse efeito da iluminação nos filmes finos realizando a fotocondutividade irá medir a corrente elétrica na amostra com diferentes intensidades, medindo a corrente entre dois eletrodos onde se aplica uma tensão constante.

Os filmes finos por serem poliméricos apresentam uma boa resistência e o teste de tração obteve-se resultados satisfatórios, com isso, ao aderir o filme em uma matriz de painéis solares fotovoltaicos é possível criar uma camada na estrutura com o revestimento do filme fino para uma absorção óptica pela camada transportadora de buracos e o eletrodo que consiste em uma lâmina fina de vidro junto a essa fina camada do filme fino que será o condutor transparente depositado na sua superfície, essa possível aplicação pode-se seguir a metodologia de Vasconcelos (2020).

As análises MEV e EDS trouxeram um resultado da superfície alcançando sua homogeneidade nos filmes funcionalizados com óxido de ferro, resistentes e de boa aderência, assim, foram possíveis verificar a concentração de NPM visível na amostra. Sendo que o potencial zeta apresentou o óxido de ferro no tamanho ideal das nanopartículas entre 1 e 10 nm, confirmando essa boa aderência da NPM ao filme fino. Essas características analisadas ajudam em uma boa construção de um filme fino condutor para aplicações em placas solares, pois são essenciais para um bom desempenho.

A cristalinidade do filme com a nanopartícula magnética obteve-se características das fases cristalinas do material ao verificar as análises DRX, sendo satisfatórias. Os índices de refração variaram conforme a concentração do agente plastificante utilizado, mais com a nanopartícula de ferro não variou. O TGA observou-se a perda de massa e a curva possui uma tendência de reta, uma estabilização onde o valor da massa do óxido de ferro presente nos filmes finos é aceitável. O DSC para todos os filmes finos onde a presença das nanopartículas magnéticas a curva apresenta as transições de primeira e segunda de acordo com a variação de entalpia e o surgimento de um pico em uma temperatura boa para a variação de capacidade calorífica. Com esses resultados, ao empregar na fabricação de células fotovoltaica esses filmes finos terá um bom coeficiente de absorção da luz solar, porque permite utilizar essa camada fina em relação a camada de semicondutores existentes no mercado que são mais grossas.

Os filmes finos produzidos nesse estudo por serem fabricados em laboratórios apresenta com seus resultados eficiências boas para aplicações em módulos fotovoltaicos conforme apresentados nos estudos de Vasconcelos (2020) e Hasan e Marion (2015).

As propostas de aplicação do filme fino devem ser estudadas levando em consideração o valor das células com esse novo produto no mercado quando for comercializado, para isso deve-se realizar um protótipo fazer testes e apresentar aos fornecedores fazendo um estudo dos custos.

## 5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Conclui-se que a síntese de um filme fino a base do bambu e funcionalizado com Nanopartículas Magnéticas, sendo um trabalho pioneiro na região do Acre. Portanto, essa linha de pesquisa procura experimentar um acentuado desenvolvimento, tanto na pesquisa tecnológica como no desenvolvimento de nanomateriais cada vez mais eficazes e seletivos, essenciais para o crescimento da nanobiotecnologia e energia.

Foi possível obter um fino filme biodegradável a base de matéria-prima abundante na região amazônica (bambu *Guadua Weber-Baueri Pilger*) funcionalizado com nanopartículas magnéticas. O fino filme biodegradável a base de matéria-prima abundante na região amazônica (bambu), observou-se que a utilização do PEG tornou o filme mais resistente e maleável para acrescentar o óxido de ferro e realizar análises com as nanopartículas magnéticas. Entretanto, os próximos passos são análises das propriedades magnéticas para posterior aplicações tecnológicas e análise de citotoxicidade contra doença da malária. Assim, as amostras foram encaminhadas à Universidade Federal do Rio Grande do Norte para verificação de suas propriedades magnéticas e estão na Fiocruz de Rondônia para análises de citotoxicidade com um parasita da malária.

Conclui-se que a preparação do filme fino a base do bambu funcionalizado com Nanopartículas Magnéticas, apresentaram boas características estruturais e magnéticas. Obteve-se um fino filme biodegradável a base de matéria-prima abundante na região amazônica (bambu), 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 mais resistentes e maleáveis e 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.

Obteve-se com as análises MEV a superfície alcançando 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 em boa parte da superfície. Ao verificar as análises DRX conclui-se que a cristalinidade do filme com a nanopartícula magnética obteve-se 3 picos característicos das fases cristalinas do material com a CMC de  $14,1 \theta$ ,  $16,8 \theta$  e  $20,9 \theta$ . O potencial zeta apresentou o óxido de ferro no tamanho ideal das nanopartículas entre 1 e 10 nm.

Verificou-se que os índices de refração variaram conforme a concentração do PEG, mais com a nanopartícula de ferro não variou. O TGA observou-se a perda de massa de 10% na

temperatura de 150°C, isso se deu devido a uma perda de água do polímero do filme fino com CMC, para os filmes finos com a nanopartícula magnética, houve uma perda de massa de 50% a uma temperatura de 298°C pelo processo de degradação da CMC e PEG, al final da curva a uma tendência de reta, uma estabilização onde apresenta o valor da massa do óxido de ferro presente nos filmes finos, sendo de 42,2% da perda de massa. O DSC para todos os filmes finos onde a presença das nanopartículas magnéticas a curva apresenta as transições de primeira e segunda ordem foram semelhantes em  $-11,3\mu\text{V}/\text{mg}$  na temperatura de 135°C com uma variação de entalpia e o surgimento de um pico de  $6,9\mu\text{V}/\text{mg}$  na temperatura de 298°C para a variação de capacidade calorífica.

Os filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro apresentam grande potencial em aplicações para obtenção de energia solar nas células fotovoltaicas de terceira geração, trazendo economia e eficiência ao utilizar um produto biodegradável e abundante na região o bambu. Para as células fotovoltaicas o filme fino preparado apresenta características como não tóxico, semitransparente, flexível, leve e fino, tornando-o com bom coeficiente de absorção de luz solar.

As análises futuras que podem contribuir a estudos futuros é a Espectroscopia UV-VIS para verificação da absorção de radiação eletromagnética nas regiões visíveis e ultravioleta do espectro medindo a quantidade de luz absorvida pela amostra, as análises magnéticas e a espectroscopia de Mössbauer para identificação de espécies químicas usando radiação gama. Possíveis trabalhos poderiam ser, preparar o filme fino utilizado o látex para um novo polímero nanoestruturado, utilizar materiais orgânicos e nanopartículas de prata. Para aplicações em Heterojunções Semicondutoras pode-se preparar filmes finos de zinco e polianilina.

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.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

ALBERTI, Thalita Rodrigues Ribeiro. **Inserção de tópicos de física moderna e contemporânea no ensino de física: elaboração de uma unidade didática com foco em nanociências e nanotecnologia**. 2016. 133 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Formação Científica, Educacional e Tecnológica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

ALI, K. et al. Enhancement of microwaves absorption properties of CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanoparticles embedded in MgO matrix. **Journal of Alloys and Compounds**, 696, 711–717, 2017. Doi: 10.1016/j.jallcom.2016.10.220.

ASYRAF, M. et al. **Recent Development of Nanomaterial-Doped Conductive Polymers**. *JOM*, 69(12), 2515–2523, 2017. Doi:10.1007/s11837-017-2628-8.

ATES, B. et al. Chemistry, Structures, and Advanced Applications of Nanocomposites from Biorenewable Resources. **Chemical Reviews**, 2020. Doi: 10.1021/acs.chemrev.9b00553.

BARBOSA, Débora Pires Porto. **Nanocarreadores baseados em óxido de ferro: síntese e caracterização**. 2019. 120 f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Brasília, Instituto de Química. Brasília-DF, 2019.

BARDHAN, S. K., FATHIMA, B. S., MOHAN, B. R., & PANT, K. K. (2014). Synthesis and Characterization of Bamboo Charcoal-silver Composites with High Antibacterial Efficacy. **Procedia Materials Science**, 5, 558–566. doi:10.1016/j.mspro.2014.07.300.

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.

BENEVIDES, Andrea Salomé Jaramillo. **Proposta de sistema construtivo para habilitação de interesse social com bambu guadua**. 2012. 143 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis-SC, 2012.

BIANCHI, Gislaine. **Confeção de uma estrutura de bambu: análise comparativa de uma estrutura em escala real conforme estudos realizados em modelo reduzido distorcido**. 2020. 128 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira-SP, 2020.

BRITO, L. M., SEBASTIÃO, P. J. O., & BRUNO TAVARES, M. I. (2015). **NMR relaxometry evaluation of nanostructured starch-PLA blends**. *Polymer Testing*, 45, 161–167. doi: 10.1016/j.polymertesting. 2015.06.011.

CARMO, Lúcio Flávio Zancanela do; AMARAL, Eufraim Ferreira do; BARDALES, Nilson Gomes. Ocorrência, biomassa, perdas e exploração de bambu em florestas da Amazônia no Acre, Brasil. *In*: Drumond, Patrícia; Wiedman, Guilherme (org.). **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. 1. ed. Rio de Janeiro: ICH, 2017.

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.

CARRARO, Cristine Grasselli. **Tratamento de fibras de bambu com polipropileno para utilização em concreto estrutural**. 2018. 121 f. Dissertação (Engenharia de Materiais) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.

CHIANG, T., & YEH, H. (2014). Synthesis of Silver Particle onto Bamboo Charcoal by Tripropylene Glycol and the Composites Characterization. **Materials**, 7(2), 742–750. doi:10.3390/ma7020742

COELHO, Thalia Camila. **Desenvolvimento de fluidos e filmes magnéticos a partir de óxido de ferro para aplicações biomédicas**. 2011. 145 p. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Química, Florianópolis, 2011.

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.

COSTA, Hugo Filipe Cabrita. **Desenvolvimento de dispositivos sensores de fibras ópticas revestidas de filmes finos de óxido de grafeno**. 2018. 57 p. Dissertação (mestrado), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2018.

DORNELAS, Camila B. et al. Preparação e avaliação reacional de nanocompósitos de PVP K-30 - montmorilonita (natural e organicamente modificada) por difração de raios X. **Polímeros [online]**. 2008, v. 18, n. 2. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-14282008000200017>>.

ENGELMANN, Wilson; HUPFFER, Haide Maria. **Impactos sociais e jurídicos das nanotecnologias** [recurso eletrônico]. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo: Casa Leiria, 2017. ISBN 978-85-9509-024-8.

FALDE, E. J. et al. Superhydrophobic materials for biomedical applications. **Biomaterials**, 104, 87–103, 2016. Doi: 10.1016/j.biomaterials.2016.06.050.

FIORI, Ana Paula Santos de Melo et al. Preparação e caracterização de nanocompósitos poliméricos baseados em quitosana e argilo minerais. **Polímeros [online]**. 2014, v. 24, n. 5, pp. 628-635.

GIESE, Ellen Cristine. Síntese de nanopartículas de óxido de ferro. **Série Tecnológica Ambiental**, 103, p. 33. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. ISBN 978-85-8261-089-3.

GUARALDO, Thais Tasso. **Síntese e aplicação de filmes biocomponentes nanoestruturados de 'TI''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.

GUIMARÃES JUNIOR, Mario et al. Nanofibrilas obtidas de polpas celulósicas de bambu: propriedades e aplicações como reforço em polímeros. *In*: Drumond, Patrícia; Wiedman, Guilherme (org.). **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia.** 1. ed. Rio de Janeiro: ICH, 2017.

GOMES, Natália Carolina Silva. **Síntese e caracterização das propriedades estruturais e magnéticas de filmes finos de SNO<sub>2</sub> dopados com o elemento ferro para a aplicação como sensores do gás metano.** 2017. 121 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Programa de pós-graduação em Nanociência e Nanobiotecnologia, Brasília-DF, 2017.

HASAN, Nasser Mahmoud. MARION, Bianca Dall Gallo. Contribuições das nanotecnologias na preservação dos recursos naturais e na geração de energias. **XV Safety, Health and Environment World Congress.** July 19 - 22, 2015, Porto, Portugal.

HUANG, Y. et al. Recent Developments in Food Packaging Based on Nanomaterials. **Nanomaterials**, 8(10), 830, 2018. Doi: 10.3390/nano8100830.

JEZINI, Valeska Santana. **Síntese e caracterização de Óxido de ferro e do compósito Óxido de ferro/Óxido de grafeno reduzido para aplicação em supercapacitores.** 2015. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015.

JING, S. et al. Facile and High-yield Synthesis of Carbon Quantum Dots from Biomass-derived Carbons at Mild Condition. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, 2019. Doi: 10.1021/acssuschemeng.9b00027.

KAUR, R. et al. Synthesis and surface engineering of magnetic nanoparticles for environmental cleanup and pesticide residue analysis: A review. **Journal of Separation Science**, vol. 37, p. 1805 – 1825, 2014.

KROLOW, M. Z., HARTWIG, C. A., LINK, G. C., RAUBACH, C. W., PEREIRA, J. S. F., PICOLOTO, R. S., ... MESKO, M. F. (2012). Synthesis and Characterisation of Carbon Nanocomposites. **NanoCarbon** 2011, 33–47. doi:10.1007/978-3-642-31960-0\_2

KULKARNI, S. K. **Nanotechnology: Principles and Practices.** 3. ed. Cham: Springer, 2015. 418 p., 2015. Doi: 10.1007/978-3-319-09171-6.

LAYCOCK, B.; HALLEY, P.; Pratt, S.; WERKERK, A.; LANTA, P. The chemomechanical properties of microbial polyhydroxyalkanoates. **Progress in Polymer Science**, v. 48, p. 1-48, 2013.

LIU, H. et al. **Nanobiotechnology: 1D nanomaterial building blocks for cellular interfaces and hybrid tissues.** Nano Research, 2018. Doi: 10.1007/s12274-018-2189-3.

MACHADO, Gilmara de Oliveira. **Preparação e caracterização de CMC e CMC graftizada.** 2000. 101 p. Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos. São Carlos-SP, 2000.

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.

MAIA FILHO, Angevaldo Menezes; SILVA, Indianara. O experimento WS de 1950 e as suas implicações para a segunda revolução da mecânica quântica. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 41, n. 2, e20180182, 2019. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S180611172019000200704&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S180611172019000200704&lng=en&nrm=iso)>.

MANRICH, Anny, MARTINS, Maria Alice, MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli. Manufacture and performance of peanut skin cellulose nanocrystals. **Scientia Agricola [online]**. 2022, v. 79, n. 6.

MARCONE, Glauciene Paula de Souza. **Nanotecnologia e nanociência: aspectos gerais, aplicações e perspectivas no contexto do Brasil.** Perspectivas da Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, 2015.

MATOS, H. L. S. **Síntese de nanopartículas de óxido de ferro funcionalizadas para remoção de Pb<sup>2+</sup>.** 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

MIKHENKO, O. V.; BLOM, P. W.; NGUYEN, T.-Q. Exciton diffusion in organic semiconductors. **Energy & Environmental Science, Royal Society of Chemistry**, v. 8, n. 7, p. 1867–1888, 2015.

MORAES, Jeremias da Cruz. **Nanotecnologia: o olhar do futuro.** 2015. 41 p. Monografia (TCC). Universidade Federal do Pará, Curso Licenciatura em Ciências Naturais. Cametá-PA, 2015.

NELSON STUDART, Marcel Novaes. **Mecânica quântica básica.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

NISHIOKA, H., & SEN, T. K. Solvothermal Synthesis and Characterization of Magnetic Bamboo Charcoal (BC) Nanocomposites. **Journal of The Institution of Engineers (India): Series E**, 2019. Doi: 10.1007/s40034-019-00142-4.

NUNES, M; BARDI, M; CARVALHO, L. H. Biodegradação em Solo Simulado de Blendas de PBAT/TPS e seus Biocompósitos com Mesocarpo de Babaçu. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 11, n. 2, 2016.

OLIVEIRA, Rafael Leite de. **Preparação e caracterização de derivados celulósicos obtidos a partir da celulose bacteriana e obtenção de filmes para aplicações óticas.** 2013. 176 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Química de Araraquara, 2013.

OSTAPIV, Fabiano. Produção e uso de materiais compósitos bambu-PET na construção civil popular. *In*: Drumond, Patrícia; Wiedman, Guilherme (org.). **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. 1. ed. Rio de Janeiro: ICH, 2017.

PALACIO, M. P. da S. **Influência de nanopartículas de ferritas na fotoluminescência de filmes finos de P3HT: PCBM**. 2020. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

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.

PEIXÔTO, L. R. V. et al. Aplicação dos conhecimentos de nanociência e nanotecnologia na elaboração do jogo de tabuleiro “detetive nanometálico”. **Revista Ciências & Ideias**, v. 12, n. 1, p. 123-135, 2021.

PINHEIRO, W. A.; CRUZ, L. R.; FERREIRA, C. L. Otimização do processo CSS para produção de células solares de filmes finos de CdS/CdTe. **Revista Brasileira de Energia Solar**, Volume II, Número 2, Dezembro de 2011, p. 149-153.

PINHEIRO, Guilherme Bastos. **Avaliação das metodologias de determinação da densidade para coloides magnéticos**. 2015. 55 f. il. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

MARIA, Roberta Patrícia Medeiros de. **Síntese e caracterização elétrica de blendas e compósitos de PMMA/PEG e PMMA/PEG/Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O**. 2015. 135f. Tese (Doutorado em Química) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

RIBEIRO, Miguel Bruno Vieira. **Desenvolvimento das técnicas experimentais de medição da fotocondutividade, de espectroscopia de deflexão fototérmica (PDS) e de caracterização de células solares para o estudo de filmes finos semicondutores em aplicações fotovoltaicas**. 2008. 76 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Minho, Escola de Ciências. Braga, 2008.

RODRIGUES, Carolina Maria Vieira. **Criação de modelo protótipo para aplicação de nanopartículas magnéticas em Hipertemia**. 2020. Dissertação (mestrado) – Universidade de Trás os Montes e Alto Dourado, Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto, 2020.

RUSCH, F.; HILLIG, Éverton; CEOLIN, G. B. Anatomia de hastes adultas de bambu: uma revisão. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S.l.], v. 38, 2018. DOI: 10.4336/2018.pfb.38e201701530.

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, Calink I. L. et al. Síntese e caracterização de pontos quânticos ambientalmente amigáveis, um meio simples de exemplificar e explorar aspectos da nanociência e nanotecnologia em cursos de graduação. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 43, n. 6, p. 813-822, June 2020.

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.

SANTOS, Thiago Oliveira dos. **Produção de bambu laminado colado: propriedades e aplicações**. 2019. 122 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-Sorocaba, 2019.

SCHNEIDER, Rodrigo. **Estudo do processo de eletrofição de micro/nanofibras de polímeros biodegradáveis para liberação do antibiótico cloxacilina**. 2018. 62 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP, 2018.

SHEN, M., YU, Y., FAN, G. et al. The synthesis and characterization of monodispersed chitosan coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles via a facile one-step solvothermal process for adsorption of bovine serum albumin. **Nanoscale Res Lett** 9, 296 (2014). <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-296>

SHIGEYOSI, Willian Takemitsu. **Magneto hipertermia in vitro em células HEK293T utilizando nanopartículas de óxido de ferro magnéticas com diferentes recobrimentos**. 2017. 213 p. Tese (doutorado), Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas no Programa de Pós-Graduação em Física. São Carlos, 2017.

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. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-70762018000400443&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762018000400443&lng=en&nrm=iso)>.

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, Henrique Faccin da. et al. Preparação e caracterização de filmes finos automontados de PAH/PAA/TiO<sub>2</sub> fotossensibilizados com clorofilina cúprica para a fotodegradação de paracetamol. **Scientia Cum indústria**. 2018, v. 6, n. 2. Disponível em: <<http://www.uces.br/etc/revistas/index.php/scientiacumindustria/article/view/6439>>.

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

SOUZA, Aryane Tofanello de. **Síntese e caracterização de nanopartículas magnéticas de óxido de ferro para aplicações biomédicas** – um estudo citotóxico em linhagem celular de carcinoma cervical humano (células HeLa). 2011. 11 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, 2011.

SOUZA, Bruna Araújo. et al. Estudo de viabilidade técnica e econômica para a aplicação de organic photovoltaics (OPV) em um edifício residencial. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 52952-52970 jul. 2020.

SOUZA NETO, Francisco Nunes de. **Preparação e caracterização de óxidos de ferro magnéticos revestidos com polidimetilsiloxano**. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Moleculares) - Câmpus Central - Sede: Anápolis - CET, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis.

TEXEIRA, Wenceslau Geraldês et al.. Retenção de água em carvão de bambu e madeira produzidos a diferentes temperaturas. *In*: Drumond, Patrícia; Wiedman, Guilherme (org.). **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. 1. ed. Rio de Janeiro: ICH, 2017.

TONDELA, João Paulo dos Santos. **Filmes finos de titânio-zircônio para osteointegração**. Coimbra:[s.n.], 2015. Tese de doutoramento. Disponível na WWW: <http://hdl.handle.net/10316/26701>.

VASCONCELOS, Vitória Maria Rodrigues. **Funcionalização da superfície de nanopartículas magnéticas de ferritas para aplicação em filmes finos de politiofeno: fulereno**. 2020. 55 f. Dissertação (mestrado), Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais. Fortaleza-CE, 2020.

WITT, Maria Alice. **Obtenção e caracterização de filmes finos de multicamadas de polieletrólitos naturais depositados por Layer-by-Layer**. 2012. 178 p. Tese (doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas do Programa de Pós-Graduação em Química. Florianópolis – SC, 2012.

WU, W., HE, Q., & JIANG, C. Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis and Surface Functionalization Strategies. **Nanoscale Research Letters**, 3(11), 397–415, 2008. Doi: 10.1007/s11671-008-9174-9.

XU, W., et al. Preparation, characterization and application of levan/montmorillonite biocomposite and levan/BSA nanoparticle. **Carbohydrate Polymers**, 234, 115921, 2020. Doi: 10.1016/j.carbpol.2020.115921.

ZANCHETTIN, Gabriela. **Síntese solvotérmica assistida por micro-ondas de nanopartículas de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> e Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> e avaliação do potencial catalítico**. 2020. 78 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis-SC, 2020.

ZONG, B., HO, P., & WUANG, S. C. Synthesis and multi-applications of conductive magnetic stable polypyrrole dispersion with phase-convertible characteristics. **Materials Chemistry and Physics**, 149-150, 156–163, 2015. Doi: 10.1016/j.matchemphys.2014.09.058.

ZHOU, H., JIANG, Z., & WEI, S. (2013). A Novel Absorbent of Nano-Fe Loaded Biomass Char and Its Enhanced Adsorption Capacity for Phosphate in Water. **Journal of Chemistry**, 2013, 1–9. doi:10.1155/2013/649868

ZHU, J., WEI, S., CHEN, M., GU, H., RAPOLE, S. B., PALLAVKAR, S., ... GUO, Z. (2013). Magnetic nanocomposites for environmental remediation. **Advanced Powder Technology**, 24(2), 459–467. doi:10.1016/j.appt.2012.10.012

## APÊNDICE A – Publicação Resumo



Simpósio Latino-Americano de  
**QUÍMICA &**  
**V Workshop de BIOTECNOLOGIA da**  
**Rede BIONORTE**



### Preparação de Filmes Finos Biodegradáveis a Base de Bambu Funcionalizados com Óxido de Ferro

**Viviane A. M. A. do Nascimento<sup>1</sup>; Anselmo F. R. Rodriguez<sup>2</sup>; Marcelo R. da S. Nunes<sup>3</sup>; William F. Alves<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Laboratório de Nanobiotecnologia, Universidade Federal do Acre, Rod. BR 364, KM 04, Rio Branco - AC  
\*viviane.marques.mv@gmail.com

*Palavras-chave:* Polímero; Nanomateriais Magnético; Nanopartículas; Nanobiotecnologia; Biotecnologia.

#### Introdução

Os compósitos magnéticos oferecem vantagens importantes no desenvolvimento de materiais inovadores em razão das suas excelentes propriedades<sup>[1]</sup>. Em partículas magnéticas os nanocompósitos magnéticos são obtidos usando fontes biorrenováveis que possuem vantagens significativas comparados aos compósitos convencionais<sup>[2]</sup>.

A pesquisa apresentada visa produzir a preparação de nanocompósitos a base de bambu funcionalizado com nanopartículas magnéticas. Neste contexto, por se tratar de um estudo pioneiro no estado do ACRE, constitui em uma boa alternativa de apoio aos estudantes, pesquisadores e demais interessados que buscam entender melhor as aplicações de nanomateriais magnéticos a base de bambu.

4(b) e 6(b) utilizando as NPM de 5% constata-se que o nanocompósito magnéticos está pouco homogêneo com a mistura do óxido de ferro. Entretanto na presença do PEG 2,5%, 5% e 7,5%, este apresentou maior resistência.



**Figura 1.** Filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro. 1(a) 0,5g CMC, 2,5% PEG e 1% de NPM; 3(a) 0,5g CMC, 5% PEG e 1% de NPM; 5(a) 0,5g CMC, 7,5% PEG e 1% de NPM; 2(b) 0,5g CMC, 2,5% PEG e 5% de NPM; 4(b) 0,5g CMC, 5% PEG e 5% de NPM; e 6(b) 0,5g CMC, 7,5% PEG e 5% de NPM.

#### Materiais e Métodos

**Materiais:** Os materiais utilizados foram usados e fornecidos pelo Laboratório de Nanobiotecnologia da Universidade Federal do Acre. A carboximetilcelulose (CMC produzido do bambu), polietilenoglicol 6000 P.A. (PEG, MM = 600 g mol<sup>-1</sup>), água destilada (H<sub>2</sub>O), óxido de ferro (F<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - nanopartícula magnética (NPM)), agitador magnético, estufa incubadora (Quimis) e banho ultrassom (Quimis). **Métodos:** Foram preparados seis nanocompósitos para funcionalizar com óxido de ferro (NPM) 1% (a) e 5% (b), a solução com 0,5 g de CMC, 2,5 % m/m de PEG com dispersão de 25ml de H<sub>2</sub>O para os filmes 1 e 2, a solução com 0,5 g de CMC, 5 % m/m de PEG com dispersão de 25ml de H<sub>2</sub>O para os filmes 3 e 4, e a solução com 0,5 g de CMC, 7,5 % m/m de PEG com dispersão de 25ml de H<sub>2</sub>O para os filmes 5 e 6. As misturas ficaram em agitação magnética por 24h. Após a agitação os nanocompósitos foram preparados com a adição do óxido de ferro (NPM) depositando 1% para os filmes assim designados, 1,3 e 5 e 5% para os filmes 2,4 e 6 no banho ultrassom por 1h. As soluções foram adicionadas sobre as placas de petri (dimensão 90x15 mm vidro neutro com tampa de fundo plano). Os seis filmes ficaram 72h na estufa incubadora a 45° C até a completa secagem com espessuras de 5x10<sup>3</sup>nm.

#### Conclusões

Os nanocompósitos foram encaminhados a Universidade Federal de Alagoas para análises de MEV, DRX e EDS. A etapa seguinte consta em analisar suas propriedades magnéticas.

#### Resultados e Discussão

Os resultados obtidos da preparação dos filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro está presente na figura 1. Observa-se que os filmes 1(a), 3(a) e 5(a) utilizando as NPM de 1% apresentaram dispersão mais homogênea das NPM sobre a matriz polimérica. A adição do PEG 2,5%, 5% tornou o filme mais resistente e maleável, porém a adição de 7,5% de PEG o tornou bem quebradiço. Para os filmes 2(b),

#### Agradecimentos

Os agradecimentos dos autores vão ao Laboratório de Nanobiotecnologia por fornecer os materiais e local para realização das preparações dos filmes e ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia.

#### Referências

<sup>1</sup> XU, W., et al. Preparation, characterization, and application of levan/montmorillonite biocomposite and levan/BSA nanoparticle. *Carbohydrate Polymers*, 234, 115921, 2020. Doi: 10.1016/j.carbpol.2020.115921.

<sup>2</sup> ATEs, B. et al. Chemistry, Structures, and Advanced Applications of Nanocomposites from Biorenewable Resources. *Chemical Reviews*, 2020. Doi: 10.1021/acs.chemrev.9b00553.

Simpósio Latino-Americano de Química & V Workshop de Biotecnologia da Rede Bionorte (2021) - Os desafios para pesquisa na América Latina

## APÊNDICE B – Publicação Capítulo Livro

<a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206046">https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206046</a>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>64</b>
OBSERVAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE TUNGSTÊNIO PRESENTE EM FIBRAS DE TiO <sub>2</sub> UTILIZADAS COMO SEMICONDUTORES EM FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA	
Luana Góes Soares da Silva Annelise Kopp Alves	
<a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206047">https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206047</a>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>75</b>
SÍNTESE DE SEMICONDUTORES DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES E SUA CAPACIDADE DE ABSORÇÃO NA REGIÃO UVA	
Luana Góes Soares da Silva Annelise Kopp Alves	
<a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206048">https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206048</a>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>85</b>
PREPARAÇÃO DE FILMES FINOS BIODEGRADÁVEIS A BASE DE BAMBU FUNCIONALIZADOS COM ÓXIDO DE FERRO	
Viviane Alencar Marques Araújo do Nascimento Marcelo Ramon da Silva Nunes William Ferreira Alves Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez	
<a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206049">https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206049</a>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>94</b>
UMA BREVE REVISÃO DO DESEMPENHO DO Ag <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> NA REMOÇÃO DE CORANTES EM SOLUÇÃO AQUOSA POR FOTOCATÁLISE	
Francisco das Chagas Marques da Silva Germano Pereira dos Santos Francisco de Assis Araújo Barros Geraldo Eduardo da Luz Júnior	
<a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.27122060410">https://doi.org/10.22533/at.ed.27122060410</a>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>104</b>
UTILIZAÇÃO DA BACTÉRIA <i>Vibrio fischeri</i> NA INDICAÇÃO DE TOXICIDADE AGUDA PROVENIENTES DE CONTAMINANTES DE INTERESSE EMERGENTE E SEUS PRODUTOS DE DEGRADAÇÃO AVALIADOS EM DIFERENTES MATRIZES AQUOSAS	
Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua Valdinei de Oliveira Santos	
<a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.27122060411">https://doi.org/10.22533/at.ed.27122060411</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>117</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>118</b>

### CAPÍTULO 9

#### PREPARAÇÃO DE FILMES FINOS BIODEGRADÁVEIS A BASE DE BAMBU FUNCIONALIZADOS COM ÓXIDO DE FERRO

Data de aceite: 01/03/2022  
Data de submissão: 07/02/2022

Viviane Alencar Marques Araújo do Nascimento  
Universidade Federal do Acre - UFAC  
Rio Branco – Acre  
<http://lattes.cnpq.br/1206822539769154>

Marcelo Ramon da Silva Nunes  
Universidade Federal do Acre - UFAC  
Rio Branco – Acre  
<http://lattes.cnpq.br/8424807035559631>

William Ferreira Alves  
Universidade Federal do Acre - UFAC  
Rio Branco – Acre  
<http://lattes.cnpq.br/1312419546878025>

Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez  
Universidade Federal do Acre - UFAC  
Rio Branco – Acre  
<http://lattes.cnpq.br/1747170505344631>

etanol, a polpa resultado dessa operação é o Carboximetilcelulose (CMC) secado na estufa e branqueado com solução de hipoclorito de sódio. Posteriormente foi realizada a preparação dos filmes finos base de bambu dispersando o CMC em água destilada mais 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. Com base nos resultados obtidos foram possíveis obter um fino filme biodegradável a base de matéria-prima (bambu) abundante na região amazônica funcionalizado com nanopartículas magnéticas e o novo material nanoestruturado possui aplicações tecnológicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Nanomateriais magnéticos. Polímeros. Nanopartículas. Nanocompósitos. Nanobiotecnologia.

PREPARATION OF BIODEGRADABLE THIN FILMS BASED ON BAMBOO FUNCTIONALIZED WITH IRON OXIDE

**ABSTRACT** The objective of the present work was to prepare bamboo-based films functionalized with magnetic nanoparticles. They were added in an oven, selected or fermented and blended from bamboo and prepared by ethanol, prepared by aqueous solution, brewed and added with ethanol, mixed with water, blended and blended. by filtration and pulping with ethanol and ethanol manipulation and ethanol

**RESUMO:** O objetivo do presente trabalho foi de preparar filmes finos com base de bambu funcionalizado com nanopartículas magnéticas. Foram selecionado o colmo do bambu e aquecido com água por agitação mecânica, lavado e seco em estufa, a solução resultante foi adicionada com etanol/água e licor-fibra, aquecido em um reator e após, sob agitação, em seguida a mistura foi separado por filtração e a polpa lavada com etanol técnico e submetida a uma agitação mecânica, filtrada e lavada com

manufacture, washed and washed with ethanol solution and pulp with operating result is made with Carboxymethylcellulose (MC) dried from cellulose hypochlorite (C). Subsequently, the preparation of bamboo fines was carried out by dispersing in distilled water plus PE other than Polyglycol, 5%, 5%, 7.5% of polyethylene with magnetic base and added to the magnetic and added nanocomposites. 1% and 5% iron, through a bath as mixed solutions and used as complete drying solutions for complete drying in the incubator oven, resulting in the fine iron oxide petroxy films. Based on the results obtained, it was possible to obtain a biodegradable thin film based on raw material (bamboo) abundant in the Amazon region functionalized with magnetic nanoparticles and the new nanostructured material has technological applications. **KEYWORDS:** Magnetic nanomaterials. Polymers. nanoparticles. Nanocomposites. Nanobiotechnology.

## 1.1 INTRODUÇÃO

Um produto ambientalmente funcional com propriedades tecnológicas é o carvão vegetal do bambu, produzido através de colmos de bambu, sendo feito pelo método de ativação química ou física (NISHIOKA; SEN, 2019), e sendo utilizado em purificação de água (KROLOW et al., 2012), ar, aplicações médicas, desodorização, melhoria do solo e em até roupas e toalhas por conta da sua grande área de superfície (NISHIOKA; SEN, 2019).

O carvão vegetal do bambu utiliza-se também no desenvolvimento da sua alta porosidade, na superfície química variável e reatividade (NISHIOKA; SEN, 2019), por isso o carvão vegetal do bambu é usado em muitos setores industriais (KROLOW et al., 2012) como alimentos, farmacêuticos, químico, petróleo e nuclear (NISHIOKA; SEN, 2019).

O bambu é considerado biomassa sustentável por este possuir uma rápida renovação, trazendo vários benefícios e características como a alta condutividade elétrica e também autolubrificante, podendo ser usado para um material de proteção eletromagnética (NISHIOKA; SEN, 2019). Além disso, tem autolubrificância, usado também como material de fricção, assim, trazendo uma série de características benéficas, pois atua em vários campos devido seu curto período de crescimento em comparação com a maioria das espécies de madeira (BARDHAN et al., 2014).

Os compostos magnéticos oferecem vantagens importantes no desenvolvimento de materiais inovadores em razão das suas excelentes propriedades (XU et al., 2020). Em partículas magnéticas os nanocompostos magnéticos são obtidos usando fontes biorrenováveis que possuem vantagens significativas comparados aos compostos convencionais (ATES et al., 2020).

Nanomateriais magnéticos de óxido de ferro nas últimas décadas vem atraindo muitas pesquisas pelo interesse nas suas aplicações com grande potencial magnético, armazenamento, catálise, eletroquímica, diagnósticos médicos e terapêuticos, por conta de suas propriedades magnéticas, físico-químicas e ópticas (SHEN et al., 2014). Por várias rotas sintéticas, a decomposição térmica, hidrotérmica ou solvotérmica fornece melhores

resultados relacionado ao tamanho e morfologia de nanopartículas (ZANCHETTIN, 2020).

Nesse sentido, o objetivo do artigo é a preparação de filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro.

## 2.1 METODOLOGIA

A metodologia empregada é constituída pela aplicação experimental gerando conhecimentos para aplicações práticas a fim de solucionar o objetivo do artigo.

### 2.1 Procedimentos

A pesquisa se desenvolveu em três etapas, sendo: a primeira, sintetizar o filme fino a base do bambu, na segunda a preparação do filme fino, e a terceira funcionalizar o nanocomposto magnético.

A figura 1 apresenta o fluxograma básico da pesquisa. No qual o objetivo geral é a preparação de filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro.



Figura 1. Fluxograma do estudo.

A síntese dos nanocompostos magnéticos a partir do carvão de bambu tipo Guadua Weber-Baueri Pilger foram realizados por processo solvotérmico. Assim estudou-se os nanocompostos magnéticos de óxido de ferro a base de bambu para um filme fino biodegradável através da síntese e funcionalização da nanopartícula de óxido de ferro tendo como base os estudos na área.

#### 2.1.1 Preparação do Carboximetilcelulose - CMC

Para obtenção do Carboximetilcelulose (pó do bambu produzido) denominado CMC a partir do bambu foi seguido o método de Machado (2000) com adaptações. Para iniciar, 200 g de colmo do bambu foi colocado em um recipiente com 4 litros de água aquecida a 70°C por uma hora em agitação mecânica para remoção dos compostos inorgânicos e, em seguida, lavado com água fria e secos em estufa a 80°C. Em um reator de aço inoxidável foram adicionados 25 gramas de bambu com uma solução de etanol/água na proporção de 1:1 (v/v) com licor-fibra de 11:1 (v/m).

Primeiramente, o reator foi aquecido a temperatura de 190°C e posteriormente

deixou-se reagir por uma hora sob agitação constante. Em seguida o reator foi resfriado e a mistura foi separada por filtração em funil e a polpa lavada com etanol técnico. Em seguida a polpa foram colocadas em um béquer de 500ml de capacidade juntamente com 200 ml de etanol e mantida sob agitação mecânica moderada durante 30 minutos, em seguida filtrada e lavada com etanol. A polpa seca em estufa com circulação de ar a 50°C. Por fim, o CMC foi branqueado com solução de hipoclorito de sódio.

A figura 2 apresenta o esquema da preparação do CMC conforme mencionado.

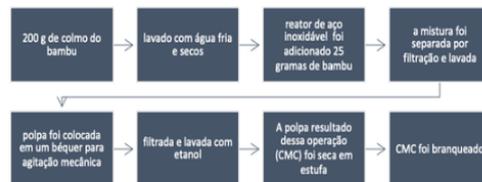


Figura 2. Esquema da preparação do CMC.

#### 2.1.2 Síntese da Nanopartícula de Ferro

As Np-Fe foram sintetizadas utilizando um método adaptado de coprecipitação de íons Fe<sup>3+</sup> e Fe<sup>2+</sup> em meio básico (KAUR et al., 2014). Foram preparadas previamente soluções de sulfato de ferro II (FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) (0,02 M) e Cloreto de Ferro III (FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O) (0,04 M) com água destilada, na proporção de 1:2 (Fe<sup>2+</sup>:Fe<sup>3+</sup>) e misturadas com agitador mecânico a 500 rpm, IKA RW 20, por 5 minutos, até que se observou a completa solubilização.

Transcorridos esse tempo, uma solução de hidróxido de sódio 0,16 M foi adicionada instantaneamente ao sistema, no qual foram possíveis observar a mudança de coloração de laranja para preto, imediatamente. O sistema foi agitado por mais 15 minutos e logo em seguida a suspensão foi sonicada por 3 minutos, com 30% de amplitude e um pulso a cada segundo.

A figura 3 apresenta o esquema da síntese da nanopartícula de ferro realizada.



Figura 3. Esquema da síntese da nanopartícula de ferro.

## 2.2 Material e métodos

Os materiais utilizados estão descritos conforme tabela 1.

MATERIAIS	DESCRIÇÃO
Carboximetilcelulose	CMC produzido do bambu
Poli(etil)enoglicol 6000 P.A.	PEG, MM = 600 g mol <sup>-1</sup>
Água destilada (H <sub>2</sub> O)	Utilizado para a preparação
Óxido de ferro	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - nanopartícula magnética (NPM)
Agitador magnético	Para homogeneizar as soluções
Estufa incubadora (Quimis)	Para secagem
Banho ultrassom (Quimis).	Para dissolução do óxido de ferro nas soluções

Tabela 1. Materiais e descrição.

Os Métodos utilizados foram para preparar os seis nanocompostos para funcionalizar com óxido de ferro (NPM) 1% (a) e 5% (b): a solução com 0,5 g de CMC, 2,5 % m/m de PEG com dispersão de 25ml de H<sub>2</sub>O para os filmes 1 e 2, a solução com 0,5 g de CMC, 5 % m/m de PEG com dispersão de 25ml de H<sub>2</sub>O para os filmes 3 e 4; e a solução com 0,5 g de CMC, 7,5 % m/m de PEG com dispersão de 25ml de H<sub>2</sub>O para os filmes 5 e 6.

As misturas ficaram em agitação magnética por 24h, após a agitação os nanocompostos foram preparados com a adição do óxido de ferro (NPM) depositando 1% para os filmes assim designados, 1,3 e 5 para os filmes 2,4 e 6 no banho ultrassom por 1h, as soluções foram adicionadas sobre as placas de petri (dimensão 90x15 mm vidro neutro com tampa de fundo plano), os seis filmes ficaram 72h na estufa incubadora a 45° C até a completa secagem com espessuras de 5x10<sup>-3</sup>nm.

A figura 4 apresenta o fluxograma da preparação dos filmes finos com a adição de NPM.

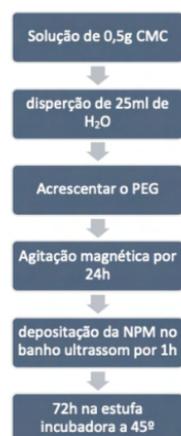


Figura 4. Fluxograma da preparação dos filmes fino com a NPM.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Filmes a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro

Os resultados obtidos da preparação dos filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro está presente na figura 5. Foi preparado os filmes com CMC e as concentrações do polímero PEG (derivado do petróleo) e funcionalizando com as nanopartículas magnéticas (óxido de ferro).

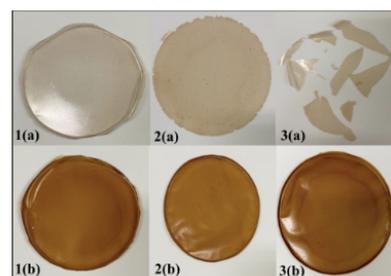


Figura 5. Filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro. 1(a) 0,5g CMC, 2,5% PEG e 1% de NPM; 2(a) 0,5g CMC, 5% PEG e 1% de NPM; 3(a) 0,5g CMC, 7,5% PEG e 1% de NPM; 1(b) 0,5g CMC, 2,5% PEG e 5% de NPM; 2(b) 0,5g CMC, 5% PEG e 5% de NPM; e 3(b) 0,5g CMC, 7,5% PEG e 5% de NPM.

Na preparação as soluções dos nanocompósitos foram adicionadas sobre as placas de petri com dimensão 90x15 mm vidro neutro com tampa de fundo plano e após a completa secagem obteve-se a espessura de 5x105nm.

Observa-se na figura 5 que os filmes 1(a), 2(a) e 3(a) utilizando as NPM de 1% apresentaram dispersão mais homogênea das NPM sobre a matriz polimérica. A adição do PEG 2,5%, 5% tornou o filme mais resistente e maleável, porém a adição de 7,5% de PEG o tornou bem quebradiço. Para os filmes 1(b), 2(b) e 3(b) utilizando as NPM de 5% constata-se que o nanocompósito magnéticos está pouco homogêneo com a mistura do óxido de ferro. Entretanto na presença do PEG 2,5%, 5% e 7,5%, este apresentou maior resistência.

Preparou-se o CMC com o polímero derivado do petróleo o PEG em três concentrações 2,5% 5% e 7,5% e observou-se que o PEG os tornou filmes mais resistentes e maleáveis e não quebradiços. Assim os filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro preparados com o CMC, PEG (2,5%, 5% e 7,5%) e óxido de ferro (5%) foi o que apresentou as melhores características na sua síntese observando os resultados obtidos (ver figura 5 1(b), 2(b) e 3(b)).

Wu, He e Jiang (2008) afirma que a síntese de nanopartículas de óxido de ferro apresenta sínteses eficientes com produções estáveis, biocompatíveis, monodispersos com forma controlada e alta qualidade. Assim a síntese envolverá oxidação controlada de Fe3O4 (óxido de ferro) e no processo solvotérmico íons serão adicionados a uma solução contendo uréia, acetato ou citrato de sódio conforme orientado por Giese (2018).

#### 4 | CONCLUSÃO

Conclui-se que a preparação do filme fino a base do bambu funcionalizado com Nanopartículas Magnéticas é uma linha de pesquisa que procura experimentar um acentuado desenvolvimento, tanto na pesquisa tecnológica como no desenvolvimento de nanomateriais cada vez mais eficazes e seletivos, essenciais para o crescimento da nanobiotecnologia e energia.

Foi possível obter um fino filme biodegradável a base de matéria-prima abundante na região amazônica (bambu) funcionalizado com nanopartículas magnéticas. O fino filme biodegradável a base de matéria-prima abundante na região amazônica (bambu), observou-se que a utilização do PEG tornou o filme mais resistente e maleável para acrescentar o óxido de ferro e realizar análises com as nanopartículas magnéticas.

Os filmes finos biodegradáveis a base de bambu funcionalizados com óxido de ferro preparados nesta pesquisa passou por caracterizações sendo elas: os padrões de difração de raios-X (DRX) que possibilitou ver a cristalinidade do material, verificar a fase magnética e calcular o diâmetro da nanopartícula, a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) que permitiu obter informações das superfícies de várias amostras, Potencial Zeta onde foi determinado a carga elétrica na interface ou superfície da partícula assim como do diâmetro hidrodinâmico das nanopartículas, a Termogravimetria (TGA) onde, realizou-se os ensaios térmicos para o material, a Citotoxicidade verificando as alterações celulares, a tração para verificação da resistência, índice de refração e Energia Dispersiva (EDS) que forneceu uma análise de assinatura de absorção.

Assim, o material é um grande potencial para aplicações tecnológicas nas diversas áreas como, energia com aplicações em células solares e na saúde em aplicação como a citotoxicidade colocando o material direto e indiretamente em contato com uma cultura de células.

#### 5 | REFERÊNCIAS

- ATES, B. et al. **Chemistry, Structures, and Advanced Applications of Nanocomposites from Biorenewable Resources**. Chemical Reviews, 2020. Doi: 10.1021/acs.chemrev.9b00553.
- BARDHAN, S. K., FATHIMA, B. S., MOHAN, B. R., & PANT, K. K. (2014). **Synthesis and Characterization of Bamboo Charcoal-silver Composites with High Antibacterial Efficacy**. Procedia Materials Science, 5, 558-566. doi:10.1016/j.mspro.2014.07.300.
- GIESE, Ellen Cristina. **Síntese de nanopartículas de óxido de ferro**. Série Tecnológica Ambiental, 103, p. 33. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. ISBN 978-85-8261-089-3.
- KAUR, R. et al. **Synthesis and surface engineering of magnetic nanoparticles for environmental cleanup and pesticide residue analysis: A review**. Journal of Separation Science, vol. 37, p. 1805 - 1825, 2014.

KROLOW, M. Z., HARTWIG, C. A., LINK, G. C., RAUBACH, C. W., PEREIRA, J. S. F., PICCOLOTO, R. S., ... MESKO, M. F. (2012). **Synthesis and Characterisation of Carbon Nanocomposites**. NanoCarbon 2011, 33-47. doi:10.1007/978-3-642-31960-0\_2

MACHADO, Gilmara de Oliveira. **Preparação e caracterização de CMC e CMC grafitada**. 2000. 101 p. Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos. São Carlos-SP, 2000.

NISHIOKA, H., & SEN, T. K. **Solvothermal Synthesis and Characterization of Magnetic Bamboo Charcoal (BC) Nanocomposites**. Journal of The Institution of Engineers (India): Series E, 2019. Doi: 10.1007/s40034-019-00142-4.

SHEN, M., YU, Y., FAN, G. et al. **The synthesis and characterization of monodispersed chitosan coated Fe3O4 nanoparticles via a facile one-step solvothermal process for adsorption of bovine serum albumin**. Nanoscale Res Lett 9, 296 (2014). https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-296

WU, W., HE, Q., & JIANG, C. **Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis and Surface Functionalization Strategies**. Nanoscale Research Letters, 3(11), 397-415, 2008. Doi: 10.1007/s11671-008-9174-9.

XU, W., et al. **Preparation, characterization, and application of levan/montmorillonite biocomposite and levan/BSA nanoparticle**. Carbohydrate Polymers, 234, 115921, 2020. Doi: 10.1016/j.carbpol.2020.115921.

ZANCHETTIN, Gabriela. **Síntese solvotérmica assistida por micro-ondas de nanopartículas de Fe3O4 e Fe3O4/TiO2 e avaliação do potencial catalítico**. 2020. 78 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis-SC, 2020.

## APÊNDICE C – Publicação Artigo

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.

BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT

ISSN:2525-8761

Acceptance for publication: 16/03/2022

### **Viviane Alencar Marques Araújo do Nascimento**

Mestre em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia. 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. 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. 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. 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). 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. 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. 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. 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. 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. 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 cm<sup>2</sup>.

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,

- $\sigma$  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 cm<sup>2</sup>.

### 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 Mecânico Destrutivo, 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)	
		em daN	Tensão normal ( $\sigma$ ) em MPa
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 lático (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 lático (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

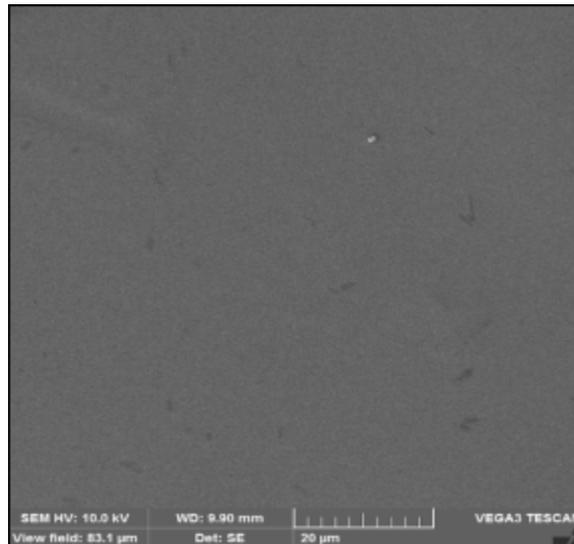
Foi realizado a análise MEV no filme a base de bambu verificando sua superfície de acordo com a caracterização do equipamento utilizando a medida de 20  $\mu\text{m}$ .

A figura 2 apresenta MEV no filme 1 CMC puro com a solução de 0,5g de CMC com dispersão de 25 mL de H<sub>2</sub>O. 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  $\mu\text{m}$ .



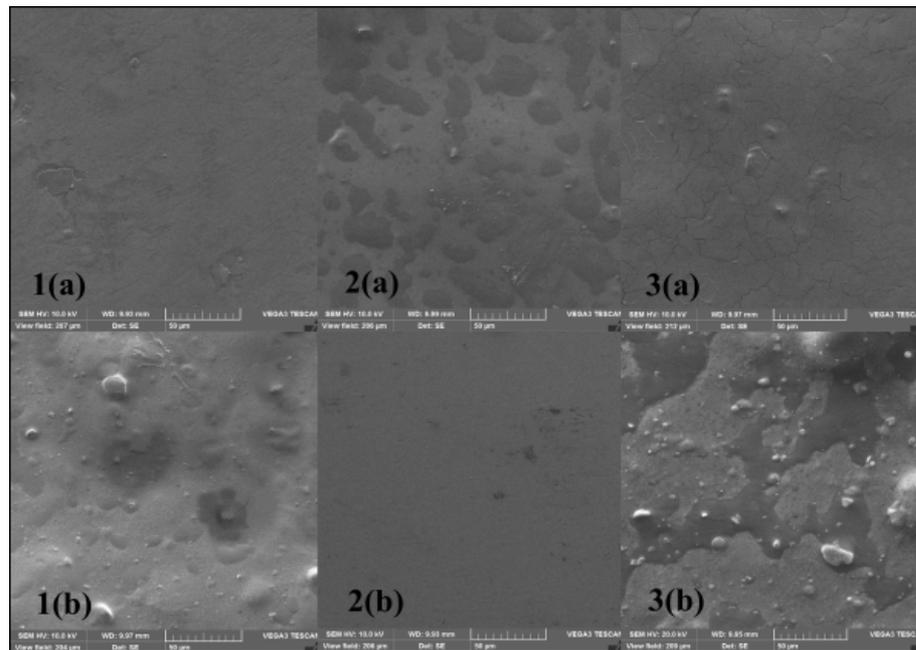
### 3.2.2 Filmes à base de bambu funcionalizados com óxido de ferro

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 H<sub>2</sub>O, 2(a) com 0,5 g de CMC, 5 % m/m de PEG com dispersão de 25 mL de H<sub>2</sub>O e 3(a) com 0,5 g de CMC, 7,5 % m/m de PEG com dispersão de 25 mL de H<sub>2</sub>O) e 5% (1(b) com 0,5 g de CMC, 2,5 % m/m de PEG com dispersão de 25 mL de H<sub>2</sub>O, 2(b) com 0,5 g de CMC, 5 % m/m de PEG com dispersão de 25 mL de H<sub>2</sub>O e 3(b) com 0,5 g de CMC, 7,5 % m/m de PEG com dispersão de 25 mL de H<sub>2</sub>O), 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  $\mu\text{m}$ ; 1(b) CMC + PEG 2,5% + NPM 5% medida 50  $\mu\text{m}$ ; 2(a) CMC + PEG 5% + NPM 1% medida 50  $\mu\text{m}$ ; 2(b) CMC + PEG 5% + NPM 5% medida 50  $\mu\text{m}$ ; 3(a) CMC + PEG 7,5% + NPM 1% medida 50  $\mu\text{m}$ ; 3(b) CMC + PEG 7,5% + NPM 5% medida 50  $\mu\text{m}$ .



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).

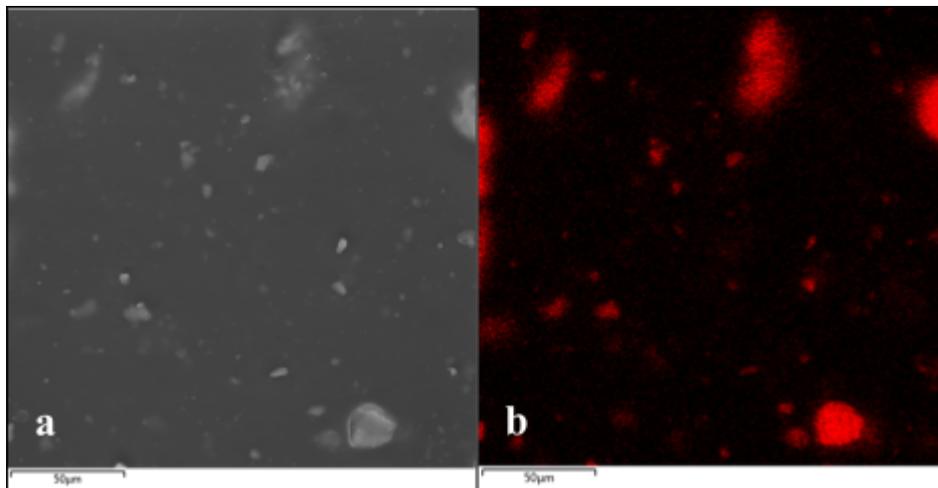
A PCL também tem sido utilizada de forma frequente como aditivo e carga para melhorar as características de processamento e as propriedades finais, tais como, a resistência ao impacto de vários materiais (SIQUEIRA et al. 2018).

### 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  $\mu\text{m}$ .

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 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 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  $\mu\text{m}$ .



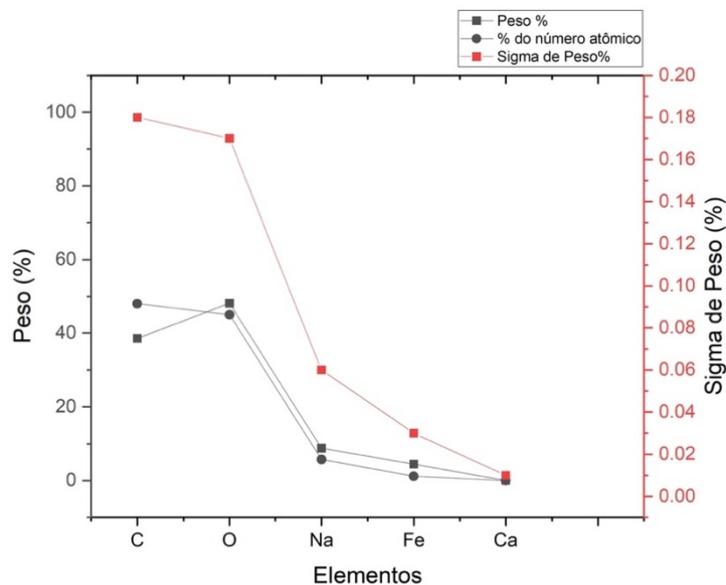
Observa-se os aglomerados das nanopartículas de forma esférica no filme fino da figura 4 que mostra a morfologia superficial. A autora Panta (2013) confirma que os aglomerados se formam durante o processo de secagem, e o fenômeno de agregação entre as nanopartículas é atribuído ao crescimento por coalescimento 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 nanomateriais 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''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., PICOLOTO, 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/Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O**. 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 Pb<sup>2+</sup>**. 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

PANTA, Priscila Chaves. **Obtenção de nanopartículas de óxido de 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 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 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/TiO<sub>2</sub> 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.