



**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL
COMPÓSITO COM BASE DE POLIACETAL REFORÇADO
COM BIOMASSA DE CASCA DE CASTANHA DO PARÁ
(Bertholletia excelsa)**

JULIA CARDOSO LANDIM

ORIENTADORA: Dra. Cirlene Fourquet Bandeira

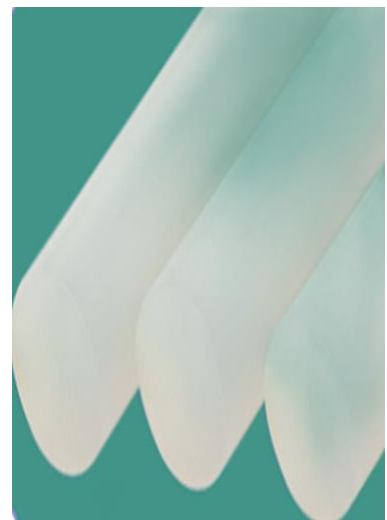
VOLTA REDONDA
Dezembro - 2024

1



ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO:

- 1. INTRODUÇÃO**
- 2. OBJETIVOS**
- 3. JUSTIFICATIVA**
- 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**
- 5. MATERIAIS E MÉTODOS**
- 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES PARCIAIS**
- 7. CONCLUSÕES PARCIAIS**



2



1. INTRODUÇÃO:

- ☞ Desenvolvimento do mercado
- ☞ Questões ambientais
- ☞ Compósitos “verdes”
- ☞ Compósitos reforçados com biomassa
- ☞ Plásticos de engenharia
- ☞ Resíduos da agroindústria



3



1.1. OBJETIVO GERAL

Obter e caracterizar um compósito com matriz polimérica, utilizando o poliacetal, e um reforço feito a partir da biomassa obtida das cascas da castanha do Pará.

1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Tratar hidrotermicamente a biomassa, fabricar compósitos com 10%, 20% e 30% de reforço de biomassa tratada e in natura e comparar análises com o polímero puro.

4



1.3 JUSTIFICATIVA:

- ☞ Utilização excessiva de petróleo
- ☞ Alto volume de resíduos do agronegócio
- ☞ Valorização de subproduto descartado



Fonte: SILVA, 2024



Fonte: SILVA, 2024 Adaptado de Isto é dinheiro, 2021



Fonte: SILVA, 2024, Adaptado de WMAMBIENTAL, 2022

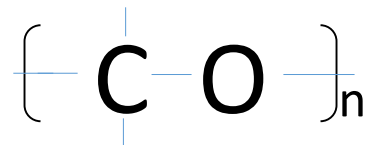


2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

2.1. *Poliacetal*

O poliacetal (POM) tem sua composição dada por um conjunto de ligações carbono-oxigênio em forma de grupos oximetileno (OCH_2) que dá a este material suas principais características.

É um polímero cuja utilização está particularmente voltada para a substituição de metais em produtos de precisão.





Características Gerais

- ☞ Termoplástico;
- ☞ Alta resistência a abrasão;
- ☞ Semicristalino;
- ☞ Fácil manipulação;
- ☞ Estabilidade dimensional;
- ☞ resistência química;
- ☞ Não absorve umidade.



7



2.2. Castanha do Pará

Bertholletia excelsa

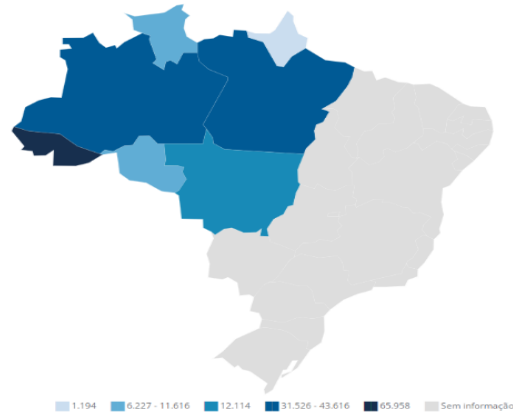


Fonte: SOUSA (2023) apud Arbóreo.com

- Riqueza da Amazônia;
- Alto valor econômico;
- Exportação;
- Produção em larga escala;
- Volume de resíduos.

8

De acordo com o IBGE (2023), a produção anual das castanhas é de 35.351 toneladas, que rendem um valor total de 172.252 milhões Reais



Fonte: IBGE (2023)

9

Apenas as sementes, que ficam contidas em um ouriço que pode conter de 8 a 24 sementes, são comestíveis.

Este ouriço, juntamente com as cascas da semente, representa 90% do total do fruto que é descartado ou subutilizado como fertilizante, briquete ou reforço de concreto.



10

2.3. Compósitos

MATRIZ

+

REFORÇO

=

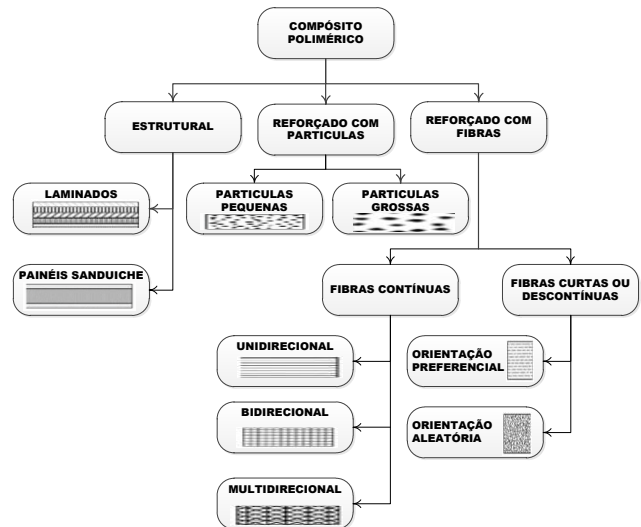
Novo material com
características otimizadas



Fonte: Boas novas MG, 2021

11

Os materiais compósitos podem ser classificados de diferentes formas, principalmente, conforme o tipo de reforço utilizado



Fonte: CARVALHO, 2019

12

2.4. *Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Naturais*

A quantidade de pesquisas que utilizam fibras naturais vem crescendo drasticamente nos últimos anos, tanto pela necessidade de reduzir o uso de materiais provenientes do petróleo quanto pela necessidade de destinação adequada do subproduto do agro.



13

2.5. *Tratamento Superficial de Biomassas*



Os resíduos lignocelulósicos demonstram grande variação em suas estruturas, o que torna necessária a alteração e adaptação das superfícies para possibilitar a utilização técnica desses materiais, buscando homogeneizar as características, diminuir a retenção de umidade e promover a ancoragem com a matriz

14

Métodos físicos	Métodos Químicos	Métodos Biológicos	Métodos Combinados
Vapor	Ozonólise	Pré-tratamento por fungos (de composição branca, parda)	Explosão a vapor
Radiação	Hidrólise com ácido diluído (H_2SO_4 , HCl, HNO_3 , H_3PO_4)	Pré- tratamento Bioorganossolv (tratado com Ceriporiopsis subvermispóra seguido de etanolise)	Hidrotérmico
Moinho de bola	Hidrólise com ácido concentrado (H_2SO_4)		SO_2 e Vapor
Moinho do tipo martelo	Ácido Acético		NO_2 e irradiação
Barra giratória	Hidrólise com ácido concentrado (H_2SO_4)		Alcalino e moinho de bolas
Umidificação	Amônia		Amônia a vapor (AFEX)
Água quente	SO_2		Explosão com CO_2
Pirólise	Deslignificação oxidativa Processo Organossolv		

2.6. Impacto Ambiental

Dentre os componentes químicos que podem ser encontrados no refugo agroindustrial, estão algumas substâncias tóxicas residuais de defensivos agrícolas.

Estes materiais são potenciais contaminantes do solo e da água quando não descartados adequadamente.



Fonte: SILVA (2024) APUD PINHEIRO (2023).

2.7. *Reciclagem*

Atualmente a reciclagem destes produtos se dá, principalmente, na obtenção de energia através da transformação das biomassas em carvão vegetal, briquetes, etanol ou biodiesel.

Visto isso é necessário dar destinos mais nobres aos produtos descartados, com maior valor agregado, auxiliando, não apenas ao meio ambiente, mas também a saúde das populações, ao visual da região e ao fator econômico pela geração de renda para fatia mais pobre dos habitantes

17

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 *Materiais*

3.1.1 *Castanha do Pará*

As cascas de castanha do Pará foram utilizadas como reforço ao polímero base.



18

3.1.2 POM

O polímero que serviu de base para o compósito foi o poliacetal grade M90 (POM) da CELCON®.

Este copolímero apresenta uma viscosidade média, sendo próprio para moldagem por injeção.



19

3.2. Métodos

3.2.1. Obtenção da biomassa da casca da castanha do Pará

As cascas da castanha do Pará, in natura, foram obtidas nas ruas de Belém do Pará.

Foi feita uma catação manual para retirada de impurezas, em seguida foi realizada uma raspagem visando a eliminação dos resíduos das nozes presas na casca.



20

As cascas passaram por dois processos de moagem, o primeiro num moinho de facas e o segundo em um Moedor De Café, o pó obtido neste segundo processo foi peneirado e o material passante em 50 mesh foi denominado biomassa de castanha não tratada.



21

3.2.2. Tratamento hidrotérmico

A biomassa adquirida, foi tratada hidrotérmicamente através de um processo de autoclavagem do material na proporção de 1:10 (p/p) de biomassa e água destilada, respectivamente, contidos em um Erlenmeyer com 500 mL de capacidade, à temperatura de 121 °C por 45 minutos para retirada de materiais lignocelulósicos.



22

3.2.3. Ensaio Termogravimétrico (TGA)

Este ensaio consiste na exposição do POM e da biomassa da casca da castanha do pará (tratada e in natura) ao calor, com taxa de aquecimento e atmosfera inerte controladas numa dada faixa de temperatura.

- Faixa de aquecimento: 30 °C a 950 °C;
- Taxa de aquecimento: 20 °C.min⁻¹;
- Massa: aproximadamente 10 mg;
- Recipiente da amostra: Platina;
- Atmosfera: Nitrogênio;
- Fluxo gasoso: 20 mL.min⁻¹.



23

3.2.4. Differential Scanning Calorimetry (DSC)

No DSC, os ensaios realizados visavam determinar as temperaturas de onset, endset, entalpia de fusão e transições vítreas (tg) quando possível.



Amostra polimérica (POM)

- Faixa 1 de aquecimento: -25 °C a 300 °C;
- Taxa 1 de aquecimento: 20 °C.min⁻¹;
- Faixa de resfriamento: 300 °C a -25 °C;
- Taxa de resfriamento: 20 °C.min⁻¹;
- Faixa 2 de aquecimento: -25 °C a 300 °C;
- Taxa 2 de aquecimento: 20 °C.min⁻¹;
- Massa: aproximadamente 7,5 mg;
- Recipiente da amostra: alumínio padrão para sólidos;
- Atmosfera: Nitrogênio;
- Fluxo gasoso: 50 mL.min⁻¹.

Amostra de biomassa (Tratada e in natura)

- Faixa 1 de aquecimento: -10 °C a 200 °C;
- Taxa 1 de aquecimento: 20 °C.min⁻¹;
- Massa: aproximadamente 7,5 mg;
- Recipiente da amostra: alumínio padrão para sólidos;
- Atmosfera: Nitrogênio;
- Fluxo gasoso: 50 mL.min⁻¹.

24

3.2.5. Espectrometria de Absorção na Região do Infravermelho (FT-IR)

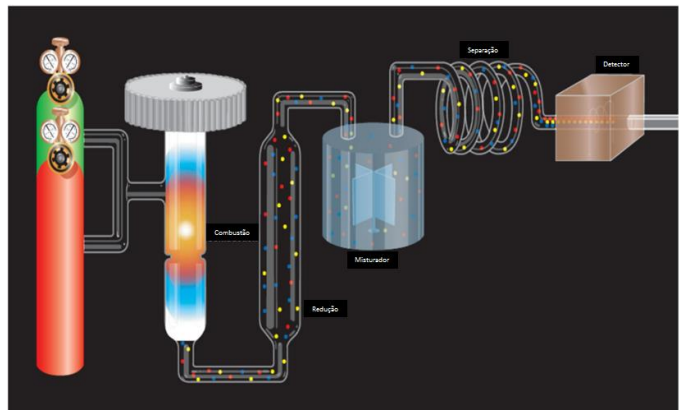
Visando determinar a composição dos materiais e garantir que o polímero usado neste trabalho é puro, foram feitos ensaios de FT-IR que determinam a composição através de bandas resultantes da vibração de átomos ou de grupos de átomos que absorvem luz na faixa do infravermelho.



25

3.2.6. Análise Elementar

Essa técnica analítica, visa determinar os teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio de uma determinada substância, e tem por base a metodologia de Pregl-Dumas.



26

3.2.7. Avaliação do resíduo tratado por pesagem

Este ensaio foi realizado para determinar variação de massa da amostra após o tratamento hidrotérmico.

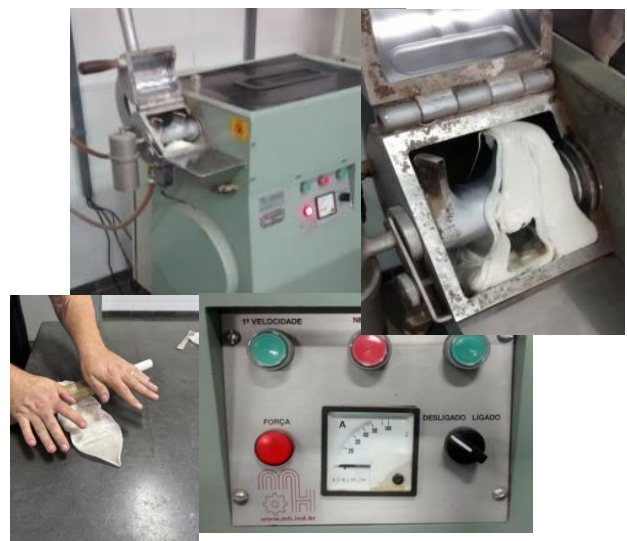
3.2.8. Fabricação dos compósitos POM/Casca da Castanha do Pará

A mistura se deu em um homogeneizador termocinético Dryzer, modelo MH-50H da MH Equipamentos que fica disponível no Laboratório 9 do Centro Integrado de Tecnologia (CIT) no Campus Olezio Galotti - UniFOA.

27

Em seguida, com o compósito ainda quente, procede-se o estiramento, sobre uma bancada fria, com o auxílio de um rolo cilíndrico.

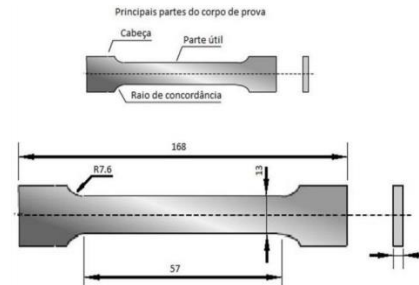
Estas chapas, após resfriadas, são trituradas no moinho de facas para obter a granulometria necessária à sua utilização na produção de corpos de prova através do método de injeção.



28

3.2.9. Produção dos corpos de prova

Os corpos de prova foram fabricados utilizando uma injetora de bancada RAY RAM, modelo TSMP, a temperatura de 250 °C que permitiu que a mistura fluísse para os moldes padrões de ensaios de tração.

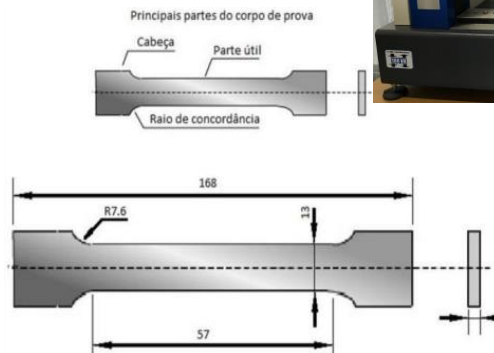


Fonte: SILVA (2024)

29

3.2.10. Ensaio de tração

Em um equipamento de ensaio de tração e flexão (marca EMIC) foram realizados ensaios com célula de carga de 5 kN e velocidade de 1,4 mm.min⁻¹.



Fonte: SILVA (2024)

30

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES PARCIAIS

4.1. *Biomassa da Casca de Castanha do Pará e POM.*

4.1.1. *Obtenção da biomassa da casca da castanha do Pará*



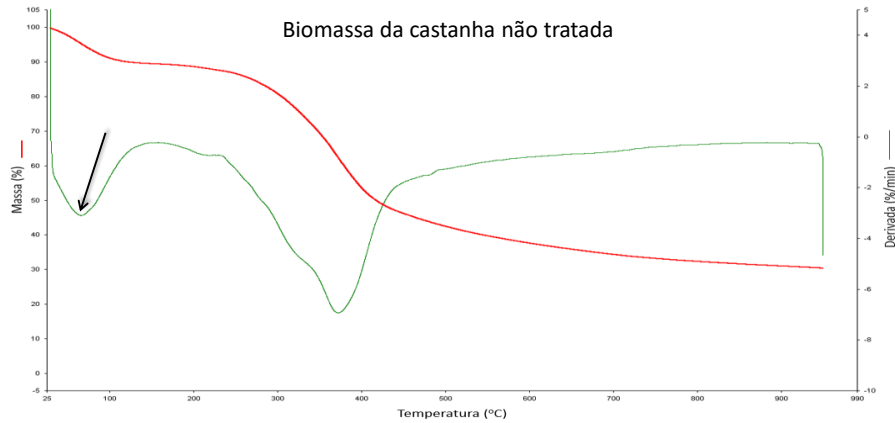
31

4.1.2. *Tratamento hidrotérmico*



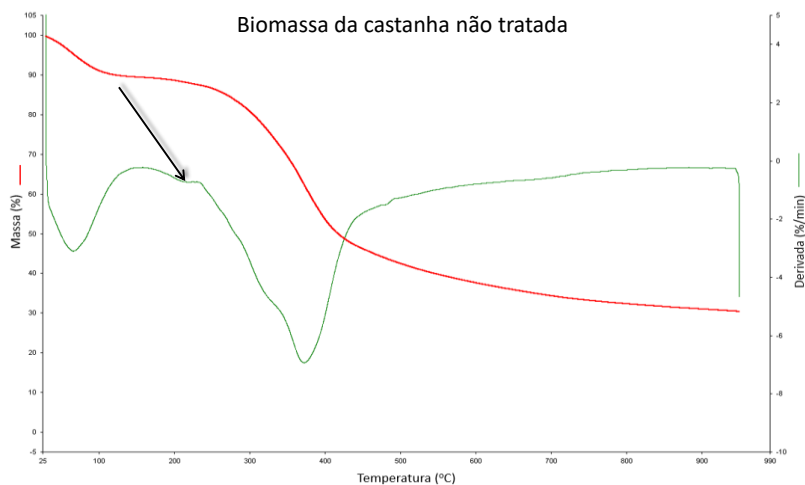
32

4.1.3. Análise Termogravimétrica



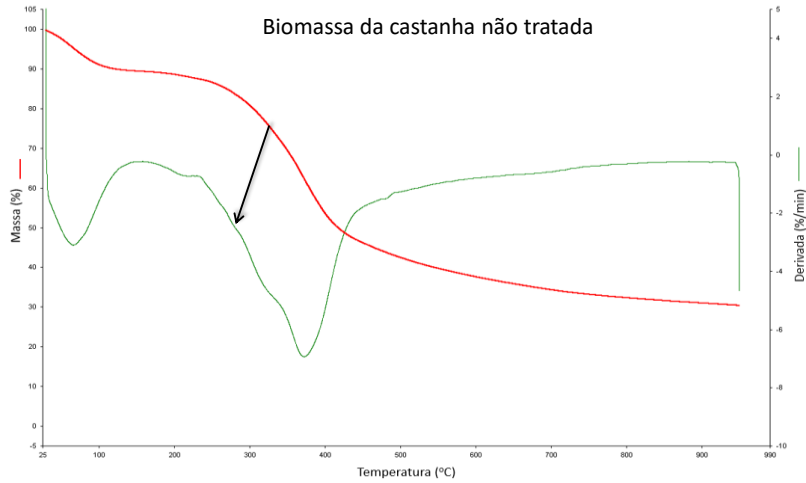
Fonte: AUTORA (2024).

33



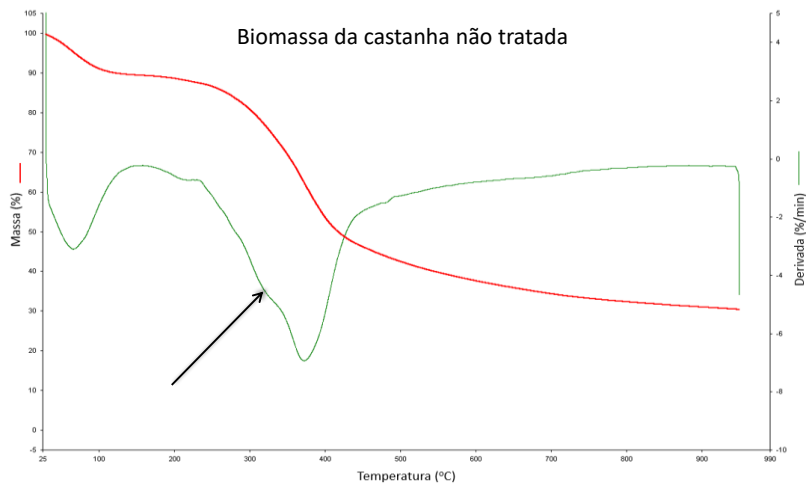
Fonte: AUTORA (2024).

34



Fonte: AUTORA (2024).

35

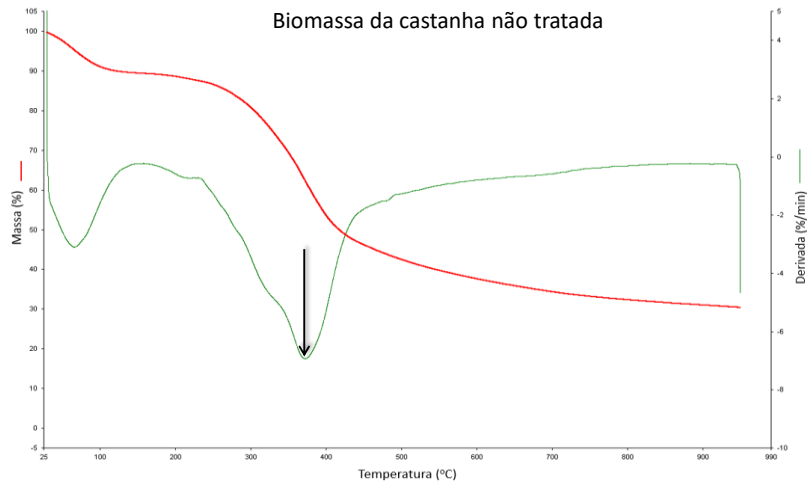


Fonte: AUTORA (2024).

36



Fundação Oswaldo Aranha
Centro Universitário de Volta Redonda
Mestrado Profissional em Materiais

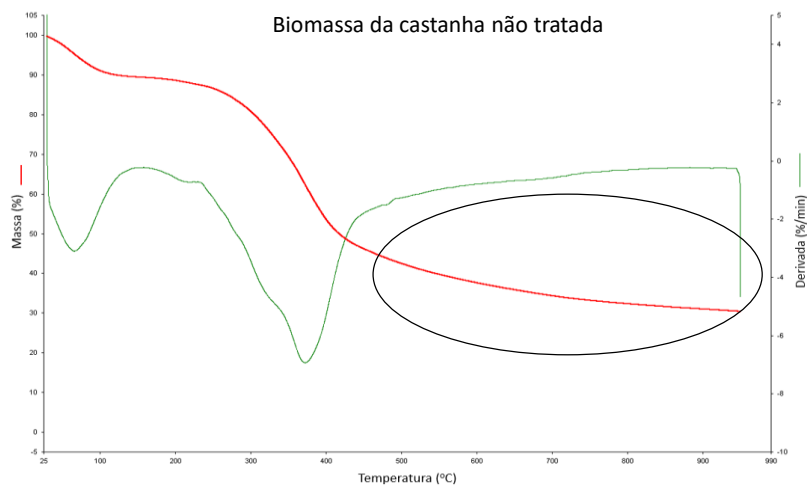


Fonte: AUTORA (2024).

37

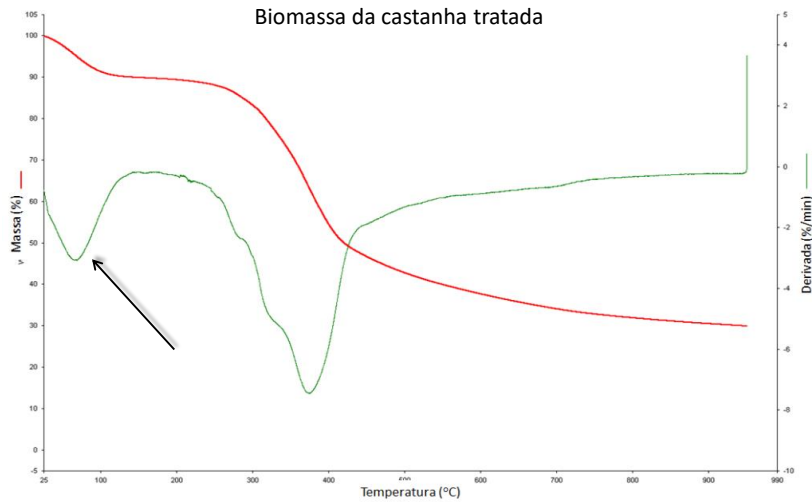


Fundação Oswaldo Aranha
Centro Universitário de Volta Redonda
Mestrado Profissional em Materiais



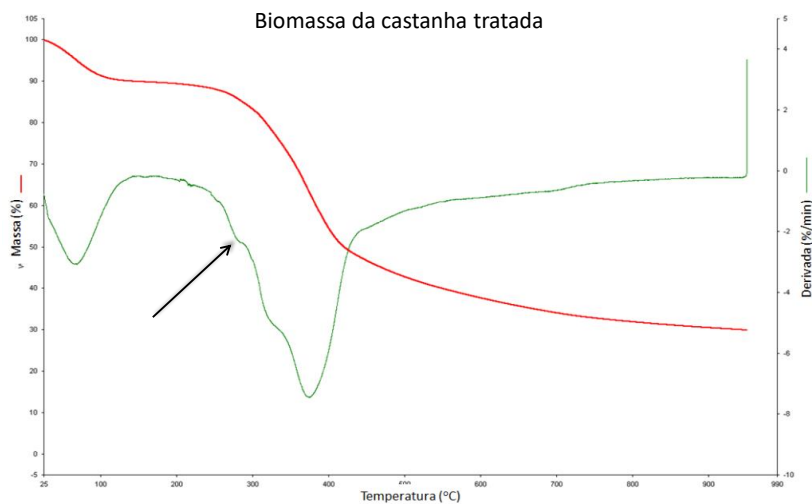
Fonte: AUTORA (2024).

38



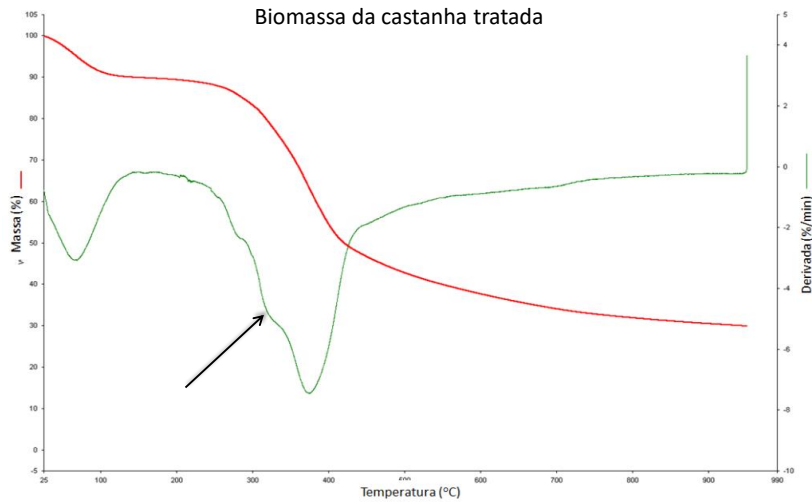
Fonte: AUTORA (2024).

39



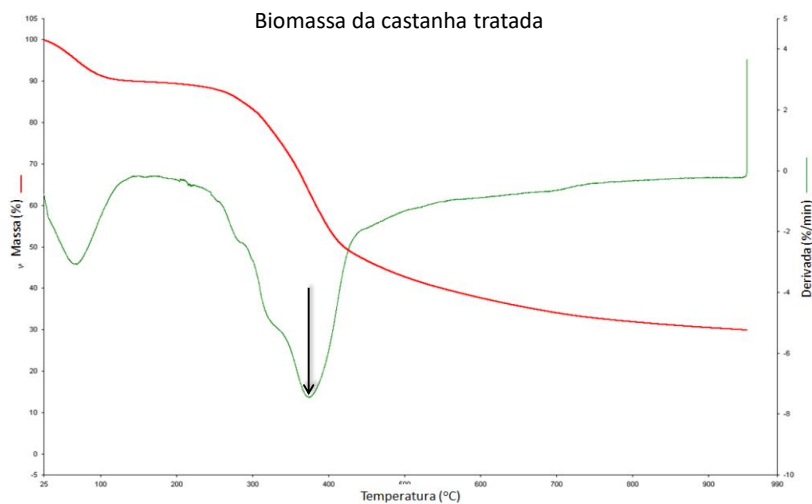
Fonte: AUTORA (2024).

40



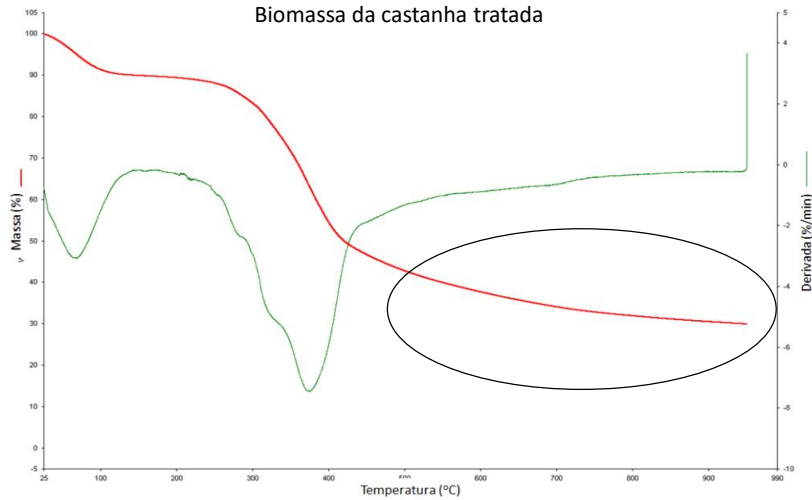
Fonte: AUTORA (2024).

41

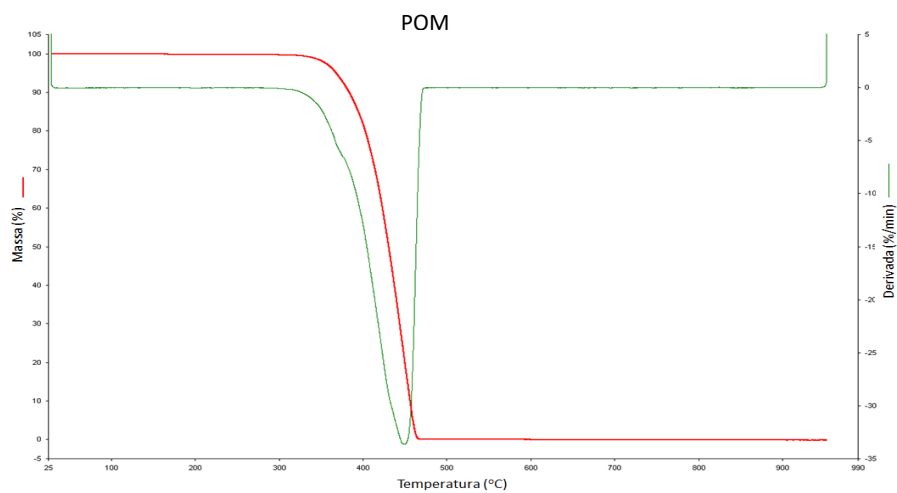


Fonte: AUTORA (2024).

42



43



44

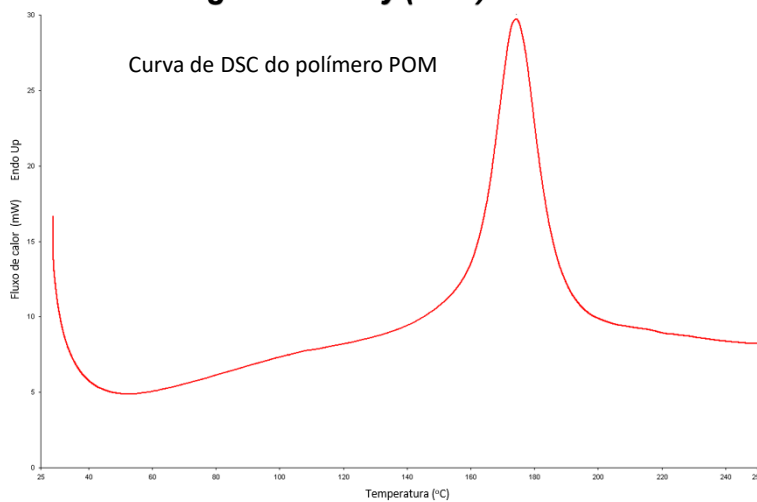
Comparação dos resultados obtidos nos ensaios de TGA das amostras de castanha *in natura*, tratada e do polímero puro

Amostras	Patamares de perda	Perda de umidade (%)	Ti (oC)	Perda de massa (%)	Resíduo (%)
Resíduo in natura	5	10,5	234	69,6	30,4
Resíduo tratado	4	10,0	241	70,1	29,9
Polímero puro	1	0,0	297	100,0	0,0

Fonte: AUTORA (2024).

45

4.1.4. Differential Scanning Calorimetry (DSC)



Fonte: AUTORA (2024).

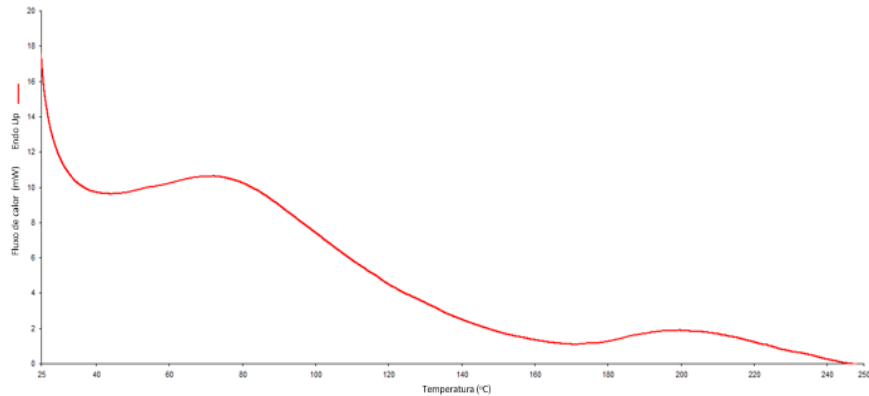
46



Fundação Oswaldo Aranha
Centro Universitário de Volta Redonda
Mestrado Profissional em Materiais



Análise de DSC da castanha in natura.



Fonte: AUTORA (2024).

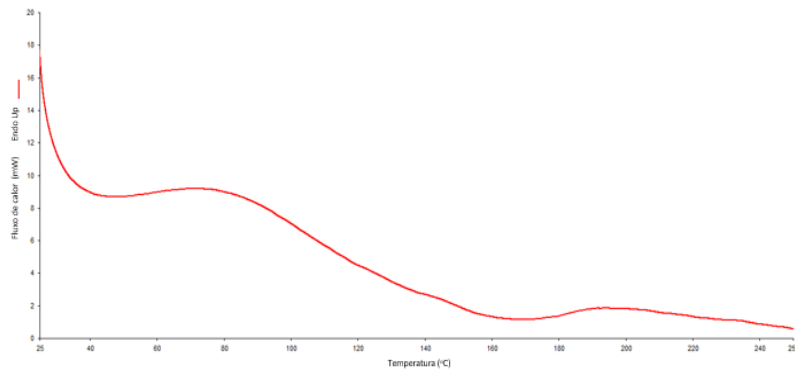
47



Fundação Oswaldo Aranha
Centro Universitário de Volta Redonda
Mestrado Profissional em Materiais



Análise de DSC da castanha tratada hidrotermicamente.



Fonte: AUTORA (2024).

48



4.1.5. Avaliação do resíduo tratado por pesagem

Variação da biomassa da castanha não tratada

Amostras	Varição de massa (g)	Varição de massa (%)
1	2,3402	21,48
2	2,5829	23,70
3	2,7088	24,92
4	2,1851	20,09
5	2,7961	25,66
Média	2,5829	23,70
Desvio Padrão	0,2551	2,34

Fonte: AUTORA (2024).

49



4.1.6. Análise Elementar

Teores de Carbono, Hidrogênio e Nitrogênio presentes nas amostras in natura

	Teor de Carbono	Teor de Hidrogênio	Teor de Nitrogênio
Amostra 1	48,33	5,68	0,77
Amostra 2	47,74	5,64	0,80
Amostra 3	47,60	5,63	0,79
Média	47,89	5,65	0,79
Desvio Padrão	0,39	0,03	0,02
CV (%)	0,81	0,47	1,94

Fonte: AUTORA (2024).

50



Teores de Carbono, Hidrogênio e Nitrogênio presentes nas amostras tratadas hidrotermicamente.

	Teor de Carbono	Teor de Hidrogênio	Teor de Nitrogênio
Amostra 1	48,16	5,63	0,87
Amostra 2	49,21	5,64	0,85
Amostra 3	49,27	5,59	0,79
Média	48,88	5,62	0,84
Desvio Padrão	0,62	0,03	0,04
CV	1,28	0,47	4,98

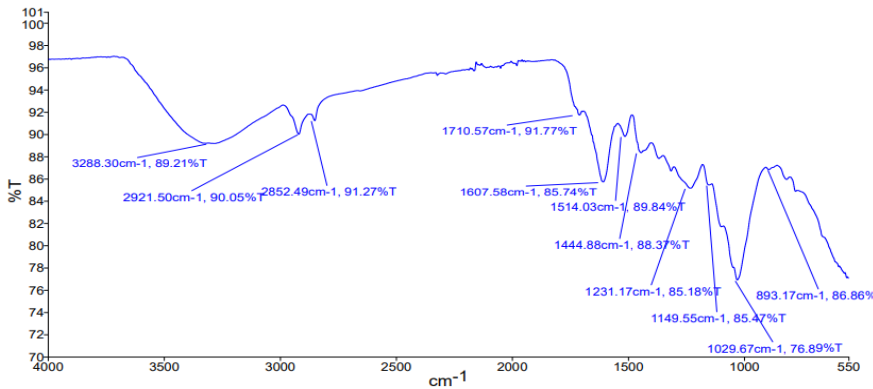
Fonte: AUTORA (2024).

51



4.1.7. Espectrometria de Absorção na Região do Infravermelho (FT-IR)

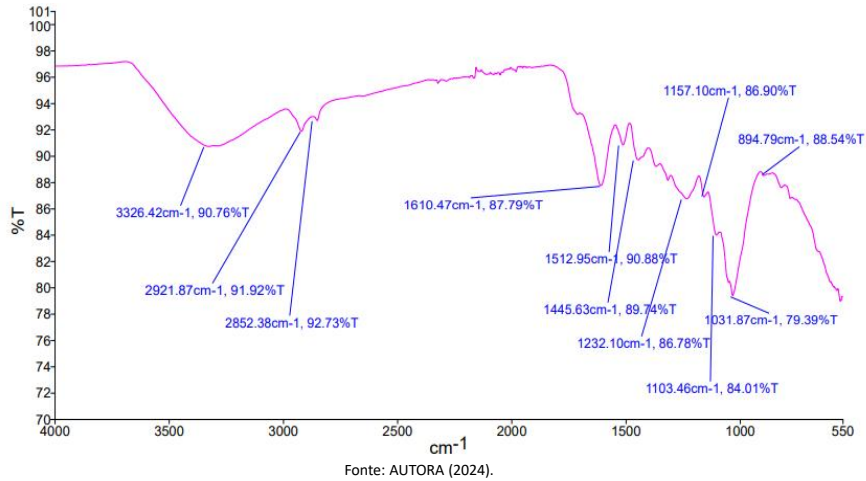
Espectro de FT-IR da biomassa da casca da castanha do Pará *in natura* obtido pela técnica de UATR com torque de 200N



Fonte: AUTORA (2024).

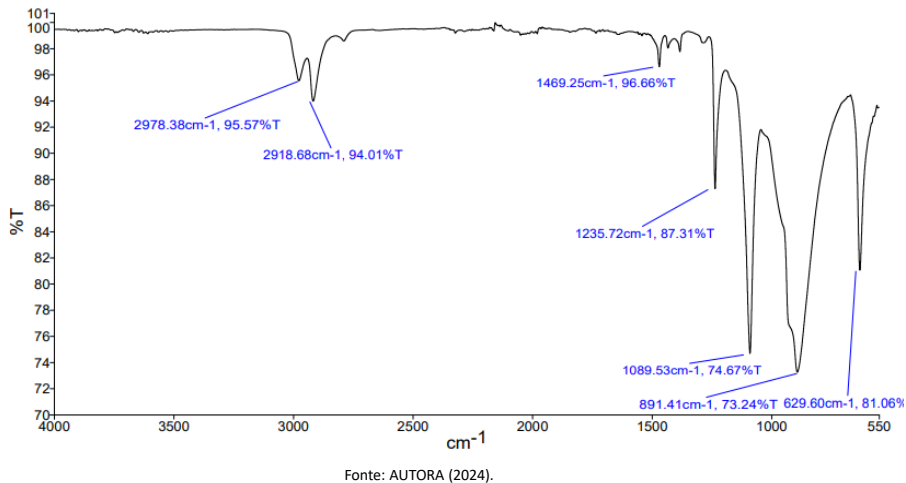
52

Espectro de FT-IR da biomassa da casca da castanha do pará tratada obtido pela técnica de UATR com torque de 200N



53

Espectro de FT-IR do POM obtido pela técnica de UATR com torque de 200N



54

Principais bandas de transmitância da lignina e suas atribuições.

Comprimen- to de onda literatura (cm ⁻¹)	Amostra <i>in natura</i> - Comprimento de onda literatura (cm ⁻¹)	Transmitância (%)	Amostra tratada - Comprimento de onda literatura (cm ⁻¹)	Transmitância (%)	Atribuições
3400	3288	89,21	3326	90,76	Grupamento hidroxílico
3000	----	----	----	----	C-H aromático
2936	2922	90,05	2922	91,92	C-H alifático
2850	2853	91,27	2852	92,73	C-H alifático
1720-1690	1711	91,77	----	----	C=O não conjugado
1675-1650	1608	85,74	1610	87,79	C=O conjugado
1604	1608	85,74	1610	87,79	C=C
1510	1514	89,84	1512	90,88	C=C aromático
1470-1460	1444	88,37	1445	89,74	C-H grupos metílicos
1430-1415	----	----	----	----	C-H de anéis aromáticos
1270-1265	----	----	----	----	C-O de anéis quaiacilílicos

Comprimen- to de onda literatura (cm ⁻¹)	Amostra <i>in natura</i> - Comprimento de onda literatura (cm ⁻¹)	Transmitância (%)	Amostra tratada - Comprimento de onda literatura (cm ⁻¹)	Transmitância (%)	Atribuições
1240-1230	1231	85,18	1232	86,78	C-O de anéis quaiacilílicos C-O de anéis siringilílicos C-O de fenóis
1140-1085	1150	85,47	1157	86,90	C-O de álcoois secundários
1035	1030	76,89	1032	79,39	C-H com deformação no plano
915-815	893	87,86	895	88,54	C-H aromáticos

Fonte: AUTORA (2024) Adaptado de CHAUDHARI (2016); SALIBA et al. (2001).

55

4.1.8. Fabricação dos compósitos POM/Casca da Castanha do Pará



Fonte: AUTORA (2024).

56

4.1.9. Produção dos corpos de prova



Fonte: AUTORA (2024).

57

4.1.10. Ensaio de tração

Material	Tensão de Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo Elástico (MPa)
POM	33,66 ±1,47	51,73 ±5,23	439,30 ±26,24
POM + 10% Reforço in natura	42,88 ±1,06	49,64 ±5,12	1357,44 ±64,21
POM + 20% Reforço in natura	41,20 ±4,44	42,80 ±3,97	1464,23 ±49,02
POM + 30% Reforço in natura	30,17 ±8,94	32,74 ±8,24	1602,60 ± 120,90
POM + 10% Reforço tratado	40,71 ±2,77	46,32 ±5,43	1349,61 ±64,25
POM + 20% Reforço tratado	33,53 ±7,72	37,04 ±8,89	1601,12 ± 38,87
POM + 30% Reforço tratado	24,67 ±7,49	25,64 ±7,26	543,35 ± 28,60

Fonte: AUTORA (2024).

58



7. 5. CONCLUSÕES

Mediante os resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- O poliacetal utilizado neste trabalho é um material puro, não tendo, portanto, nenhum outro componente que possa interferir nos resultados;
- Os reforços utilizados apresentam temperatura inicial de decomposição superior a 200 °C e o poliacetal apresenta temperatura de fusão em 161 °C. Sendo assim, não há impedimento térmico, no tocante a degradação dos materiais, que impeça a formação do compósito;
- O tratamento hidrotérmico foi efetivo, retirando, da biomassa, parte da lignina;

59



- O acréscimo de 10% de biomassa aumentou a tensão de escoamento para ambos os reforços quando comparados ao polímero puro;
- Com o aumento do teor de reforço, a tensão de escoamento tende a diminuir;
- Os valores encontrados na tensão de escoamento das amostras tratadas e *in natura*, não apresentam diferença de valores estatisticamente consideráveis entre si, estando dentro da mesma faixa de variação;
- Sendo assim, é possível manufacturar compósitos com essa biomassa (*Bertholletia excelsa*) para fabricação de engrenagens, reduzindo a utilização de polímeros oriundos do petróleo, reinserindo a biomassa na cadeia produtiva e agregando valor ao resíduo da agroindústria.

60



OBRIGADA!!!



Sérgio Roberto Montoro



Daniela Camargo Vernilli



Eloisa Landim Cardoso



Antônio Carlos Landim



Cirlene Fourquet Bandeira



Douglas do Couto Soares