



OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE BENZOXAZINA REFORÇADOS COM FIBRA DA CASCA DE NOZ-MACADÂMIA

Orientada:

Ariana Carmem Antunes da Costa

Orientadora:

Dra. Cirlene Fourquet Bandeira

Coorientadora:

Dra. Michelle Leali Costa

Volta Redonda, Agosto/2018.



INTRODUÇÃO

- Constante evolução da indústria polimérica traz a necessidade de redução dos impactos gerados por toda esta cadeia produtiva.

“ MATERIAIS VERDES ”



INTRODUÇÃO

- Compósitos de fibras naturais com matriz polimérica podem ter grande contribuição:
 - Redução de custo;
 - Redução do uso dos derivados do petróleo;
 - Menor tempo para degradação;
 - Redução dos poluentes e de descarte;
 - Melhoria das propriedades do compósito tais como menor densidade.
 - Gerar renda para população de baixa renda no Brasil.

INTRODUÇÃO

- Dentro deste contexto, destaca-se:
 - Fibra da casca de noz-macadâmia.

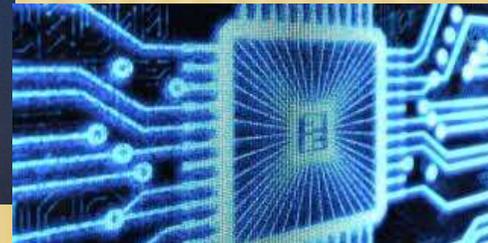


- Sua utilização se restringe a fabricação briquetes utilizados na produção de energia e na compostagem



INTRODUÇÃO

- Matrizes poliméricas - resinas polibenzoxazinas ,utilizadas na substituição das resinas termorrígidas epóxis e fenólicas.
- Tradicionalmente utilizadas na indústria polimérica (construção civil, automobilística, aeronáutica, espacial, eletro-eletrônica entre outras).



OBJETIVO

Produção de dois tipos de compósitos poliméricos:

- (1) compósitos de benzoxazina reforçados com fibra de macadâmia *in natura* (5%, 10% e 20 % m/m);
- (2) compósitos de benzoxazina reforçados com fibra de macadâmia tratada (5%, 10% e 20 % m/m).

Ciclo de cura destinado a produção dos compósitos, realizado em estufa

Avaliação:

DSC - calorimetria exploratória diferencial

TGA - termogravimetria

TMA - análise termomecânica

DMA - análise dinâmico-mecânica

MO - microscopia óptica

FT-IR - espectrometria de absorção na região do infravermelho

Massa específica

Tudo foi comparado à resina pura curada!

JUSTIFICATIVA

Sendo a fibra da macadâmia um material renovável, seu aproveitamento tem grande interesse de cunho ecológico:

- Minimiza o descarte;
- Acúmulo em aterros sanitários;
- Queima e conseqüente, poluição do meio-ambiente

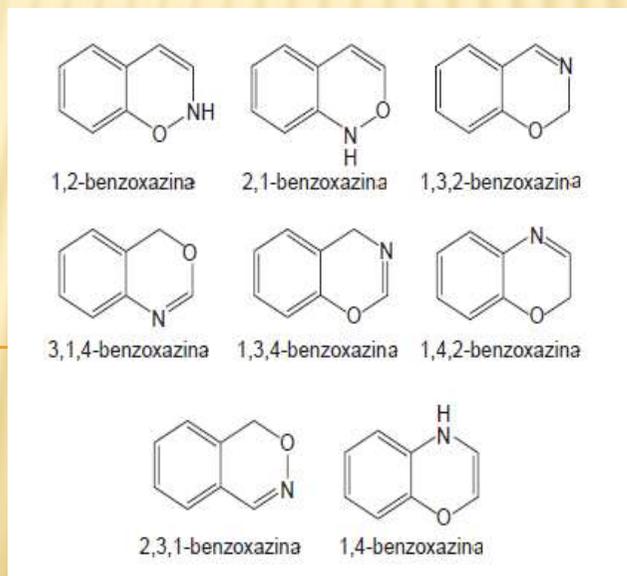
Contribuir para capacitação tanto na área humana quanto no desenvolvimento tecnológico do UniFOA no setor de compósitos.

Não há trabalhos, a nível nacional, para fabricação de compósitos utilizando a resina benzoxazina com fibras naturais e a nível internacional, poucos são os trabalhos conhecidos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Resina Benzoxazina

As moléculas de benzoxazina são constituídas de um anel oxazina (um anel heterocíclico, hexatômico com um átomo de oxigênio e um átomo de nitrogênio em sua composição) que está ligado a um anel benzênico com grupos funcionais reativos.



REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

• Pertencem à classe das resinas fenólicas sendo uma resina termorrígida.

• Vantagens:

- Alta resistência à temperatura;
- Boa estabilidade dimensional;
- Boas propriedades elétricas;
- Elevada temperatura de transição vítrea;
- Baixa absorção de umidade;
- Produz elevado teor de carbono fixo;
- Possui alto módulo de elasticidade.

$> 200^{\circ}\text{C}$

$150-260^{\circ}\text{C}$

$< 0,9\%$

$4,3-5,2 \text{ GPa}$

PODE SER ARMAZENADA À TEMPERATURA AMBIENTE

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Resina	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Módulo de armazenamento (GPa)	Alongamento à ruptura (%)	Massa específica (g.m ⁻³)	Tg (°C)
Benzoxazina	44-64	4,3-5,2	1,8-2,2	1,0-2,4	1,22-1,25	150-260
Fenólica	35-62	2,7-4,8	-	1,5-2,0	1,24-1,32	~ 175
Epóxi	28-90	2,4	-	3-6	1,11-1,40	150-261
Bismaleimida	-	-	-	≤2,0	1,35-1,40	250-300

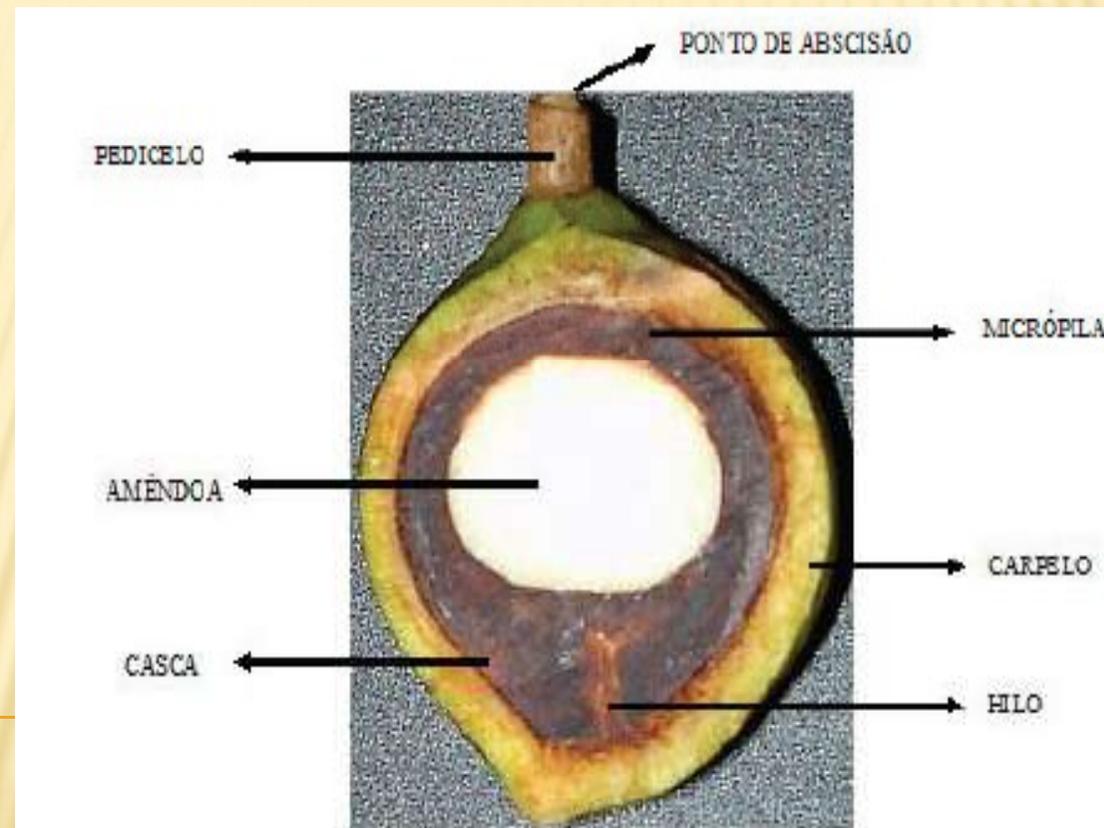
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Fibras da Noz-Macadâmia



- Noz-macadâmia ou noz-da-queenslândia;
- Origem – Austrália;
- Nome - *John MacAdam*, pesquisador australiano que foi responsável pela caracterização de diversas espécies de plantas no continente australiano;
- Gênero - família botânica Proteaceae;
- Espécie - *M. integrifolia*, espécie *M. tetraphylla*;
- Poder calorífico -(24,8 MJ/Kg);
- Produção de resíduos, cerca de 75% do total gerado;
- Utilização - *Briquetes* e compostagem.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA



REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

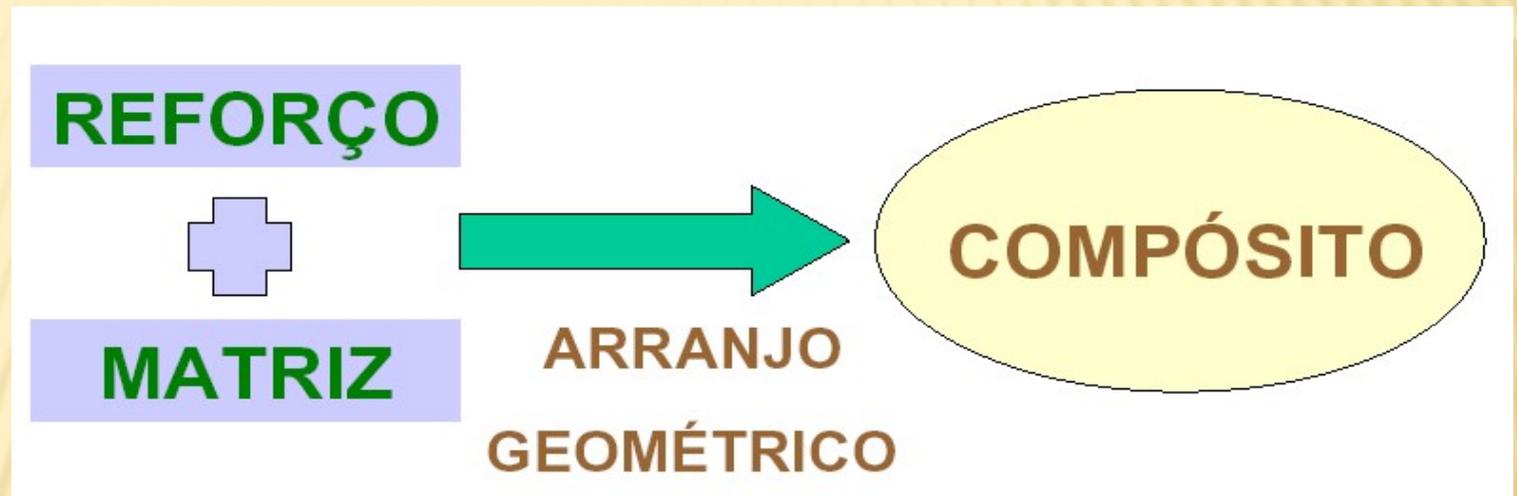
Esta noz é cultivada principalmente na região sudeste devido ao clima.



Estado	Plantas	Area (ha)	%
São Paulo	650.000	3.000	46%
Espírito Santo	220.000	1.000	15%
Minas Gerais	180.000	850	13%
Bahia	100.000	500	8%
Rio de Janeiro	100.000	500	8%
Mato Grosso	100.000	500	8%
Paraná	30.000	150	2%
Total	1.380.000	6.500	100%

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Compósitos poliméricos



- Melhorar a resistência mecânica e a tenacidade
- Diminuir a densidade



REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Interface Resina/Fibra – Tratamentos para melhorar a interface

Comporta-se como um importante elo, transmitindo os esforços do carregamento da matriz para o reforço de fibras e com isso melhora as características dos compósitos.

Esses tratamentos visam melhorar a aderência matriz/fibra e alterar as características como a hidrofiliabilidade , rugosidade superficial entre outros.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Métodos para extração de materiais ligninocelulósicos

• Tem por objetivo modificar a estrutura química da parede celular e com isso aumentar a compatibilidade matriz/fibra.

• Os tratamentos na fibra, utilizam ácidos, bases ou solventes orgânicos.

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 <i>Ceriporiopsis subvermispora</i> 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	Hidrolise 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	Designificação oxidativa		
	Processo Organossolv		

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Processamento dos compósitos

O processamento consiste basicamente na impregnação do reforço com a matriz.

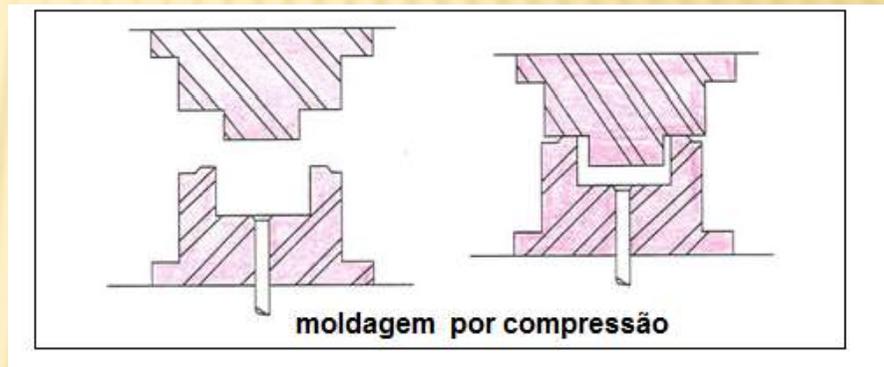
Os processamentos mais comuns são:

- Laminação;
- Pultração;
- Braiding;
- Filamento Winding;
- Moldagem.

O melhor processo a ser utilizado leva em consideração o tipo de matéria-prima, o tipo de reforço e a matriz e qual a geometria a ser obtida.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A moldagem pode ocorrer em moldes abertos e fechados que podem ser feitos manualmente ou automatizado



REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Cura dos Compósitos

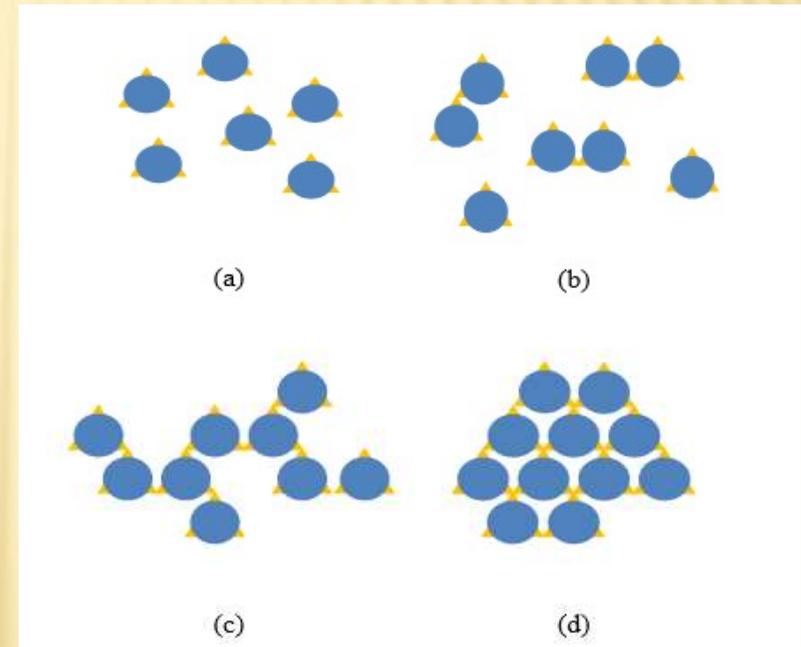
A cura visa a formação de ligações cruzadas .

Etapa inicial: a partir de um monômero;

Segunda etapa: ocorre a formação de oligômeros; em pontos esparsos da resina pelo aumento da temperatura ou do tempo de exposição.

Terceira etapa: ocorre a polimerização atingindo o ponto de gel;

Etapa final: cura.





REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Comportamento Térmico do Compósito

- A quantidade, bem como o tipo de reforço presentes e o tipo da matriz utilizada influenciam as propriedades finais do compósito e seu comportamento térmico.
- As análises térmicas são fundamentais para definir a utilização ou não de um determinado material.

Técnicas mais conhecidas são: TGA e DSC

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

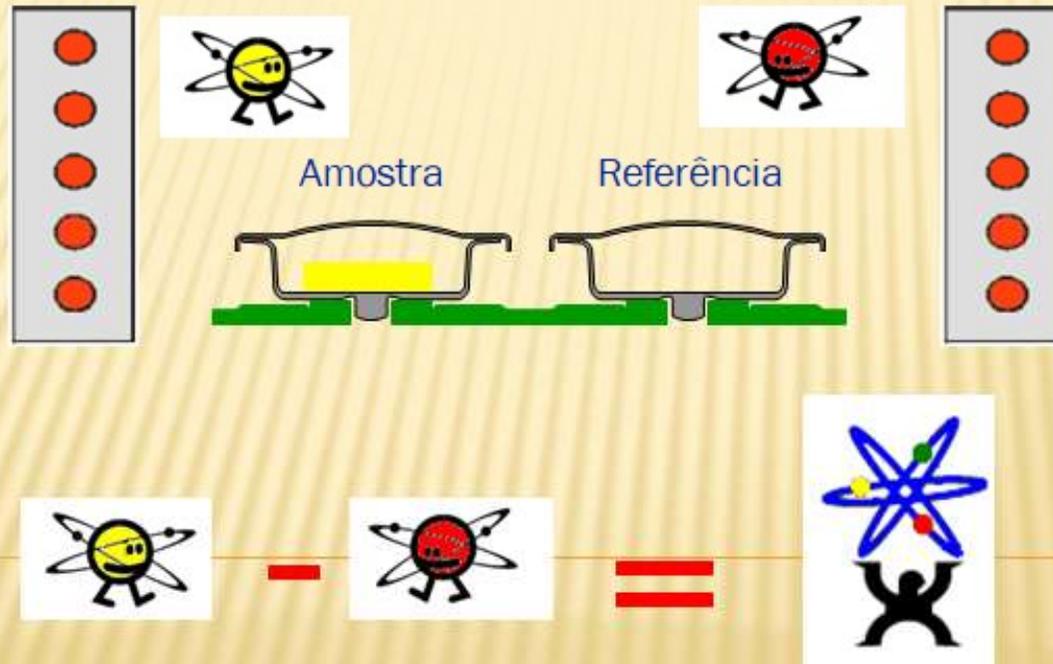
TGA



É a técnica na qual mede-se a mudança da massa em função da temperatura ou tempo, quando a amostra está submetida à uma programação controlada de temperatura.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

DSC



É a técnica na qual mede-se a diferença de energia fornecida à substância e a um material de referência, em função da temperatura ou tempo, quando ambos são submetidos à uma programação controlada de temperatura.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Comportamento dinâmico-mecânico

Correlaciona as propriedades elásticas e viscosas de um material.

DMA

Determinação das propriedades mecânicas de uma amostra sob uma carga oscilante e, em função da temperatura, tempo e frequência.



MATERIAIS E MÉTODOS

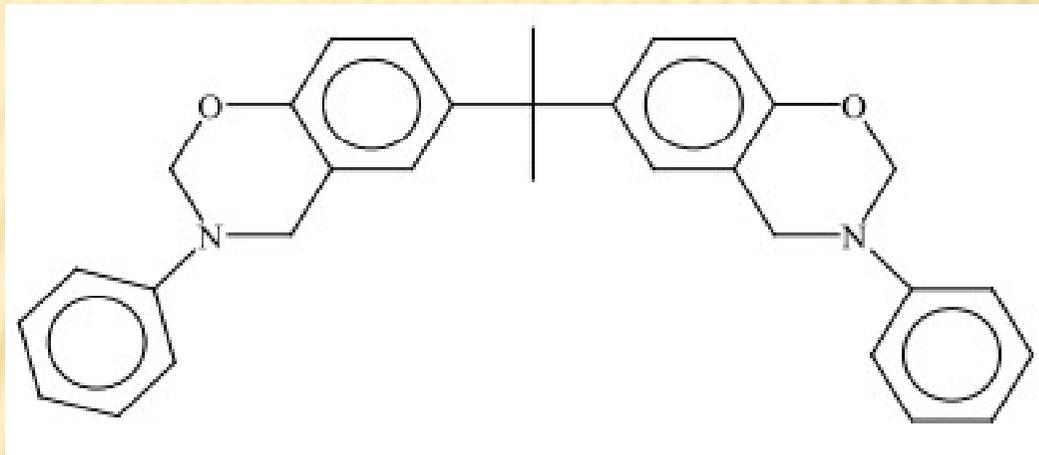
Materiais

Casca da noz de macadâmia - adquirida na fazenda Bela Vista, localizada em Rodovia Itatiba- Amparo Km 113,5 Amparo- SP, após o processamento para retirada da amêndoa.



MATERIAIS E MÉTODOS

Resina Benzoxazina - XU 35610 da HUNTSMAN Corporation China –
Doadada gentilmente pela Dra. Michelli Leali Costa lotada na UNESP-FEG



MATERIAIS E MÉTODOS

Características:

- Não libera voláteis durante a cura;
- Boa solubilidade em cetona ou outros solventes comuns;
- Apresenta ponto de amolecimento entre 58 e 70°C;
- Viscosidade a 125°C entre 200 e 600 cp;
- Tempo de gel a 200°C entre 160 e 450 s;
- Coloração amarela.

MATERIAIS E MÉTODOS

Métodos

Obtenção das fibras de macadâmia *in natura*



MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção das Fibras de Macadâmia após tratada hidrotermicamente

Consiste na autoclavagem, a 121°C , por 45 minutos em erlenmeyers com capacidade de 500 mL, contendo fibras e água destilada na proporção de 1:10 em peso, respectivamente.



MATERIAIS E MÉTODOS

Massa específica

Este ensaio foi baseado na norma ISO 8962:1987 que determina, em dispersões poliméricas, a massa específica via picnometria líquida.

$$\rho_s = \frac{m_s \cdot \rho_{IL}}{m_1 - m_2}$$



MATERIAIS E MÉTODOS

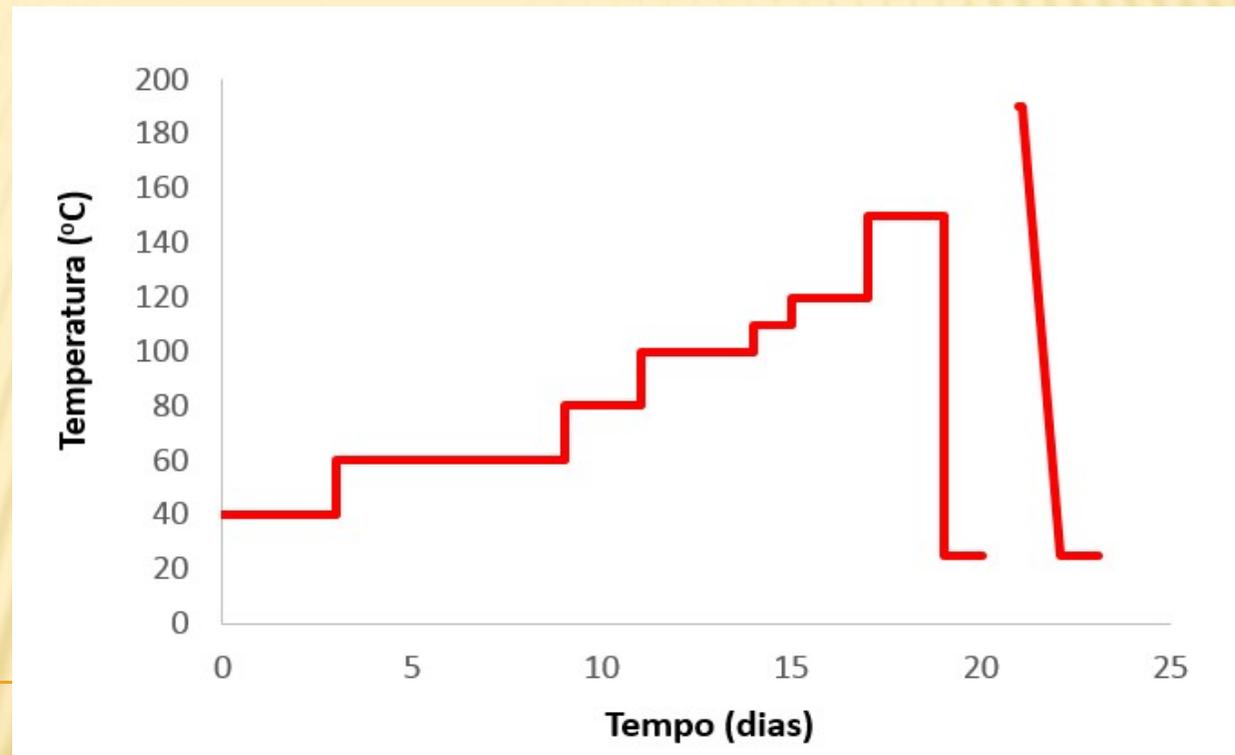
Obtenção dos Compósitos de Benzoxazina/Fibra Macadâmia

$$\frac{m_r}{m_f} = \frac{\rho_r}{\rho_f} * \frac{1 - f}{f}$$



MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção do Ciclo de Cura



MATERIAIS E MÉTODOS

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

Com o intuito de caracterizar a resinas benzoxazinas e a fibras de macadâmia, foram realizados ensaios de FT-IR. Spectrum One da PerkinElmer localizado no CTA.

Condições:

Técnica de UATR;

Célula de seleneto de zinco;

Torque de 200 N;

Na região do MIR.



Esta análise baseia-se em bandas de frequências vibracionais de um átomo ou um conjunto de átomos de uma dada estrutura molecular que resulta da absorção da luz na faixa do infravermelho e que permite a caracterização de grupos funcionais ou até da substância

MATERIAIS E MÉTODOS

Fração de fibras do compósito

Para se calcular a fração volumétrica do reforço considerou-se o teor de resina com o esperado para os compósitos e foi utilizada a equação. Nesta equação, o ρ_{Comp} corresponde a massa específica do compósito formado, o ρ_{Res} a massa específica da resina, o ρ_{Fibra} a massa específica da fibra e $\%_{Res}$ e $\%_{Fibras}$ correspondem, respectivamente, aos teores de resina e fibras utilizados.

$$\rho_{Comp} = \%_{Res} * \rho_{Res} + \%_{Fibra} * \rho_{Fibra}$$

MATERIAIS E MÉTODOS

Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Objetivo - Determinar as temperaturas de cura e o percentual de cura residual, bem como determinar a temperatura de transição vítrea (T_g) do material estudado.

Condições ensaios:

Massa: 6 mg

Faixa de temperatura: 30 a 300°C;

Taxa de aquecimento: 10°C.min⁻¹;

Fluxo de nitrogênio: (20 mL/min);

Recipiente de alumínio.



UNESP-FEG

MATERIAIS E MÉTODOS

Análise Termogravimétrica (TGA)

Objetivo - Acompanhar a variação da massa da amostra, em função do tempo e da temperatura e determinar a temperatura de degradação do material.

Condições de ensaios:

Cápsulas de platina;

Faixa de temperatura: 30 a 950°C;

Taxa de aquecimento: 10°C.min⁻¹;

Fluxo de nitrogênio: (20 m/min).

UFRJ



MATERIAIS E MÉTODOS

Análise Termomecânica (TMA)

Objetivo - Este equipamento mede a deformação de uma substância, sob carga não oscilatória em função da temperatura ou tempo .

Condições de ensaio:

Módulo de compressão / expansão;

Dimensões das amostras de 7,0 mm x 7,0 mm x 1,0 mm;

Faixa de temperatura: 30 a 2700°C;

Taxa de aquecimento: 3°C.min⁻¹;

Fluxo de nitrogênio: (20 m/min);

Força - 49 mN;

Atmosfera de ar estático.

UNESP-FEG



MATERIAIS E MÉTODOS

Análise Análise dinâmico-mecânica (DMA)

Objetivo - determinar a resposta do material quando da aplicação de uma tensão senoidal ou periódica aos compósitos estudados

Condições de ensaio:

Modo de deformação: *Bending* (ou *Dual Cantilever*);
Dimensões das amostras: 50 mm x 10 mm x 1,5 mm;
Faixa de temperatura: 30 a 300°C;
Taxa de aquecimento: 3°C.min⁻¹;
Amplitude: 10 µm;
Força: 100 mN;
Atmosfera de nitrogênio;
Fluxo gasoso de 100 mL.min⁻¹;
Frequência: 1,0Hz.



UNESP-FEG

MATERIAIS E MÉTODOS

Microscopia Óptica (MO)

Objetivo - objetivo avaliar a microestrutura dos compósitos estudados.

- microscópio óptico de luz transmitida da Zeiss; modelo Axioskop 40;
- lentes CP Plan – ACHROMAT 5x;
- razão de espectro de 0,12;
- imagens com 50x;
- *software* AxioVision LE v. 4.8.2.0;
- *software* Image J.

UNESP-FEG



RESULTADOS

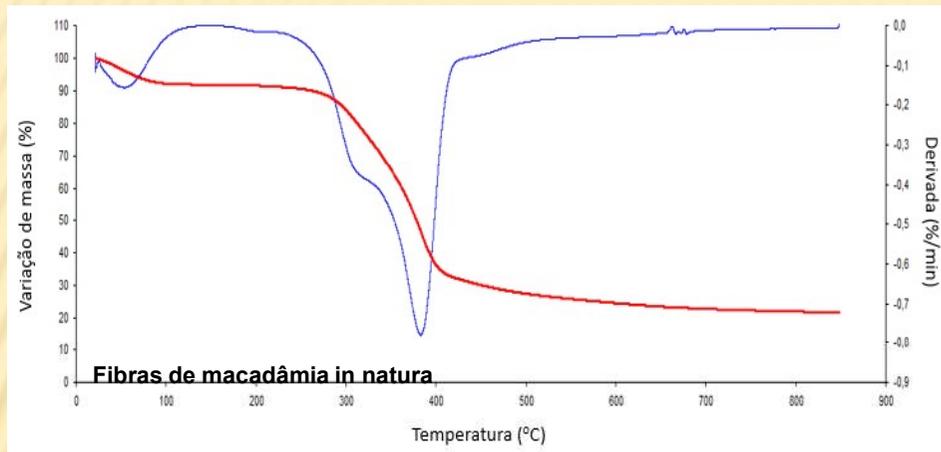
Fibra de macadâmia

Massa específica

Amostras	Massa específica da amostra <i>in natura</i> (g.cm ⁻³)	Massa específica da amostra tratada (g.cm ⁻³)
1	1,3281	1,2655
2	1,3972	1,2780
3	1,2762	1,2956
Média	1,3338	1,2797
Desvio Padrão	0,0607	0,0151
CV(%) *	4,55	1,18

RESULTADOS

Termogravimétrica (TGA)



Quatro patamares de degradação:

- 1) Voláteis / umidade;
- 2) Hemicelulose e a β -cellulose;
- 3) Celulose;
- 4) Lignina.

Mecanismo de decomposição complexo

Umidade:

8,29% - in natura

5,41% - tratada

Ti (Temperatura de início de degradação)

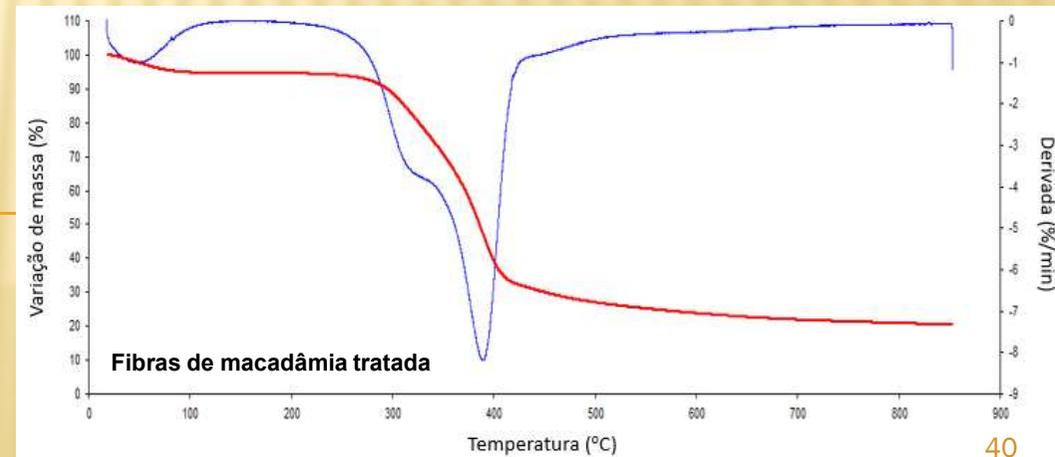
200°C - in natura

228°C - tratada

% da hemicelulose e da β -celulose:

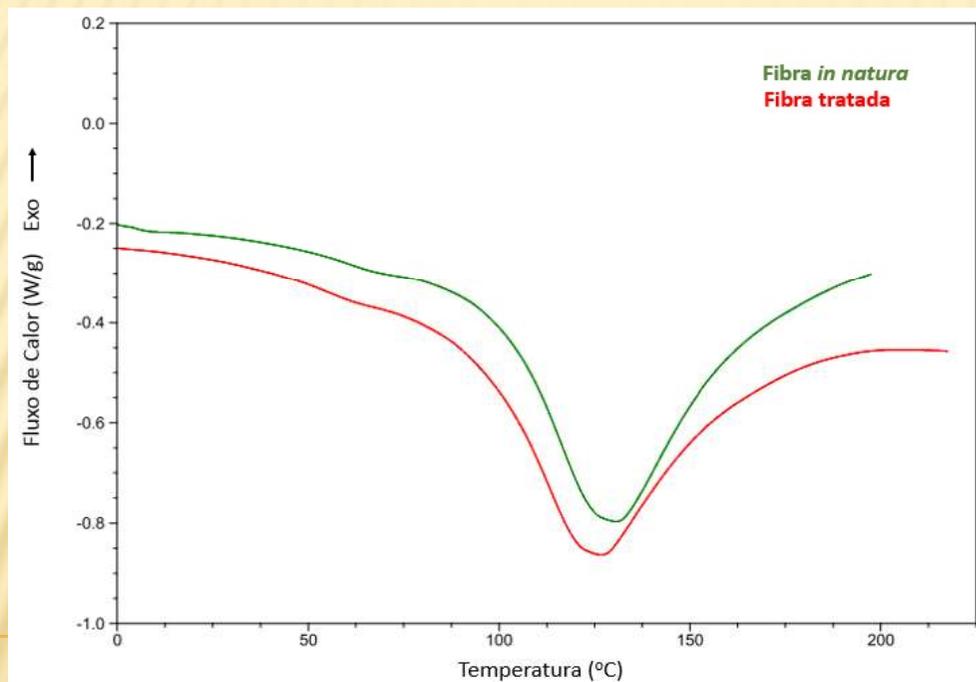
15,8% - in natura

13,8% - tratada



RESULTADOS

Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)



Dois eventos

Tg (Transição vítrea)

61,24°C - in natura

55,02°C - tratada

Variação se deve a quantidade de material amorfo.

Segundo pico

130,69°C - in natura

126,45°C - tratada

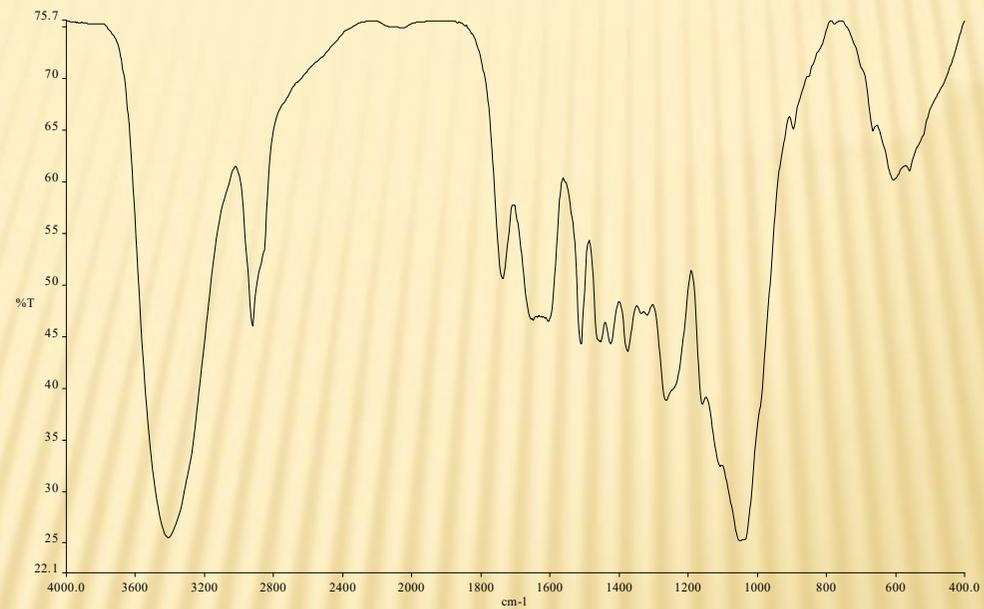
Resultante da fusão de partículas cristalinas da lignina.

Indica que a extração foi parcial.



RESULTADOS

Espectrometria de absorção na região do infravermelho (FT-IR)

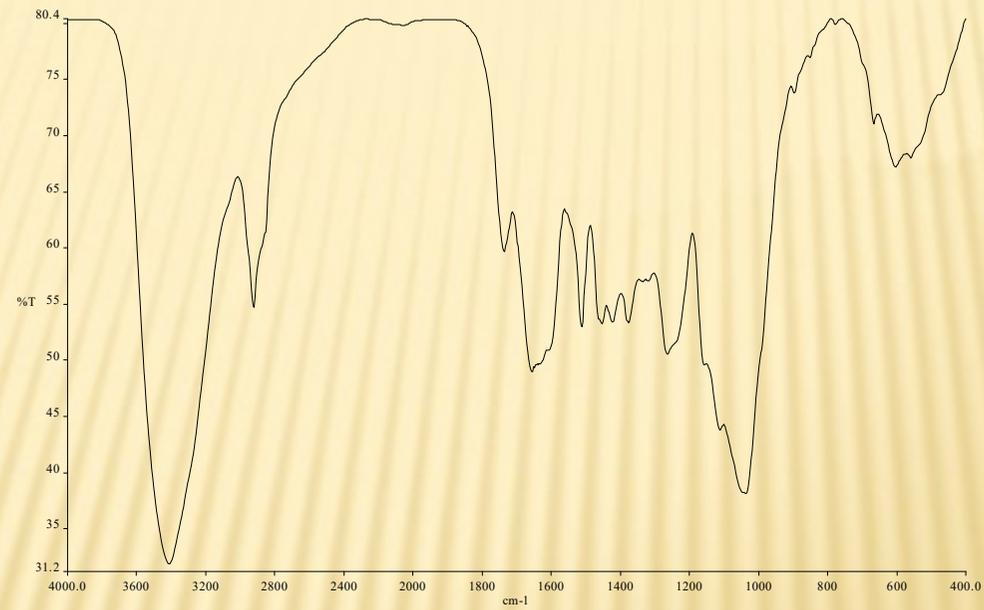


macadâmia *in natura*



RESULTADOS

Espectrometria de absorção na região do infravermelho (FT-IR)



macadâmia tratada

RESULTADOS

Espectrometria de absorção na região do infravermelho (FT-IR)

Numero de onda (cm ⁻¹) Literatura	Atribuição	Polimero	Numero de onda (cm ⁻¹) In natura	Transmitancia (%) In natura	Numero de onda (cm ⁻¹) Tratado	Transmitancia (%) Tratado
3412-3460	estiramento O-H	celulose, lignina água	3413	31,88	3412	25,53
2884-3000	estiramento C-H em grupos metílicos e metilênicos	lignina	2924	54,70	2924	46,05
2050-2150	estiramento R-N=C-S em isocianetos	---	2055	79,78	2059	74,90
1709-1738	estiramento C=O em cetonas não conjugadas, carbonilas e grupos éster	hemi- celulose, lignina	1736	59,70	1736	50,60
1656	estiramento C=O não conjugados	lignina, água absorvida	1656	49,01	---	---
~1600	estiramento C=C do anel aromático	lignina	---	---	1607	46,50
1500-1513	vibrações do esqueleto	lignina	1513	52,96	1509	44,28

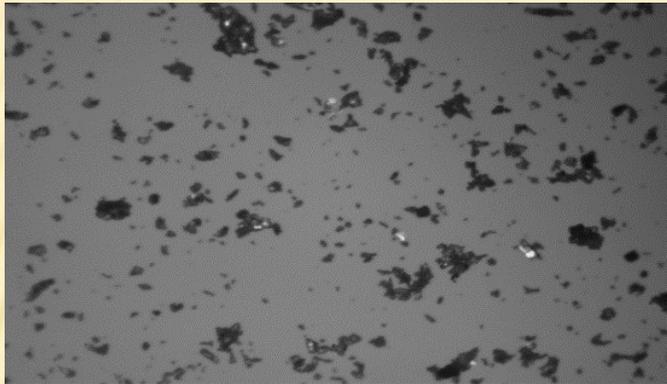
RESULTADOS

Espectrometria de absorção na região do infravermelho (FT-IR)

1450-1460	estiramento C-H em grupos metílicos e metilênicos	lignina	1453	53,26	1453	44,52
1422-1430	vibrações do esqueleto aromático combinados com deformação C-H no plano	lignina	1422	53,43	1425	44,36
1365-1380	deformação angular de C-H; grupo fenólico OH	celulose, hemicelulose, lignina	1377	53,36	1376	43,56
1280,1320	deformação angular de C-H	celulose	—	—	1320	47,05
1266-1270	vibrações do anel G, influenciadas por estiramento C=O	lignina	1265	50,53	1265	38,80
1160-1210	estiramento C=O em grupos éster conjugado	lignina	—	—	1160	38,49
1000-1075	estiramento O-H	hemicelulose, lignina	1039	38,14	1051	25,21
875-960	Deformação O-H Banda larga	celulose	897	73,78	897	65,14

RESULTADOS

Microscopia Óptica (MO)



Macadâmia *in natura*

Área média 818,90 μm^2

Desvio padrão $\pm 1033,66$

Circularidade $0,697 \pm 0,048$

Solidity 0,877



Macadâmia tratada

Área média 1097,35 μm^2

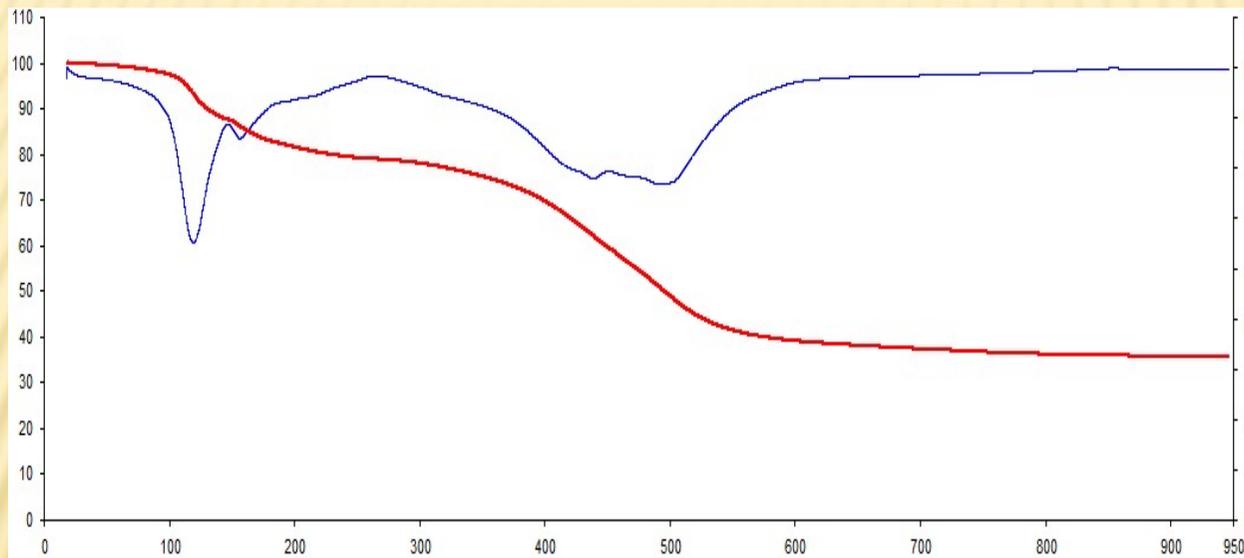
Desvio padrão $\pm 1898,03$

Circularidade $0,689 \pm 0,048$

Solidity 0,879

RESULTADOS

Resina Benzoxazina
Análise Termogravimétrica (TGA)



1º e 2º eventos
Perda de massa de 21,0%
Ocorreram abaixo de
185°C.

Indicam decomposição
térmica complexa e/ou
presença de um Segundo
componente.

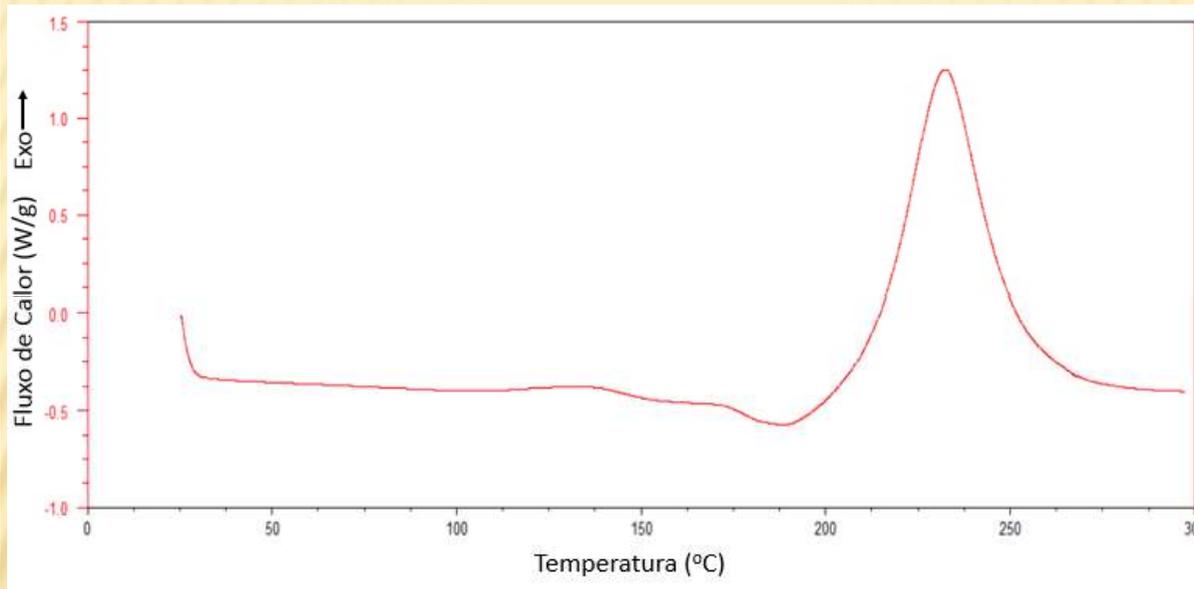
Ti = 266°C
Tf = 636°C

Resíduo a 900°C de
35,7%

Confirmando o alto teor
de carbono fixo.

RESULTADOS

Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)



Duas Tg (Transição vítrea)

144°C e 177°C

Confirma o TGA =>

possível presença de um segundo componente =>

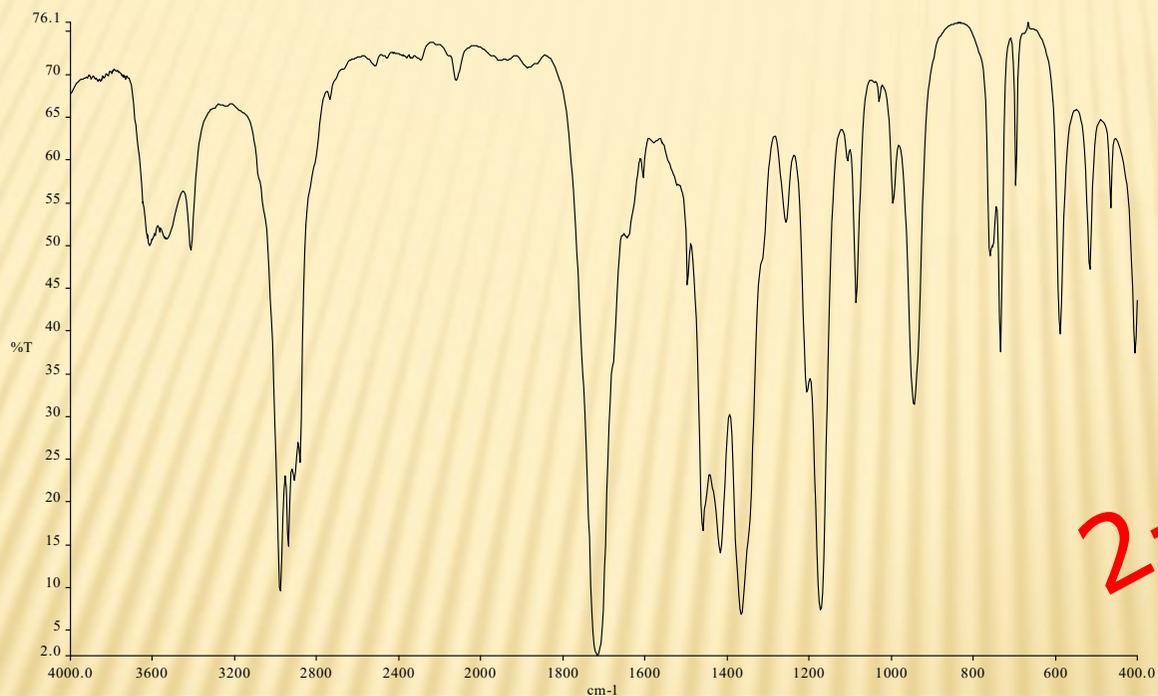
provavelmente um agente tenacificante.

$T_{g1}(^{\circ}\text{C})$	$T_{g2}(^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{inicial}}(^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{final}}(^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{onset}}(^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{pico}}(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$
143,86	177,52	189,35	292,15	211,44	232,35	-309,2



RESULTADOS

Espectrometria de absorção na região do infravermelho (FT-IR)



Solvente da resina Benzoxazina

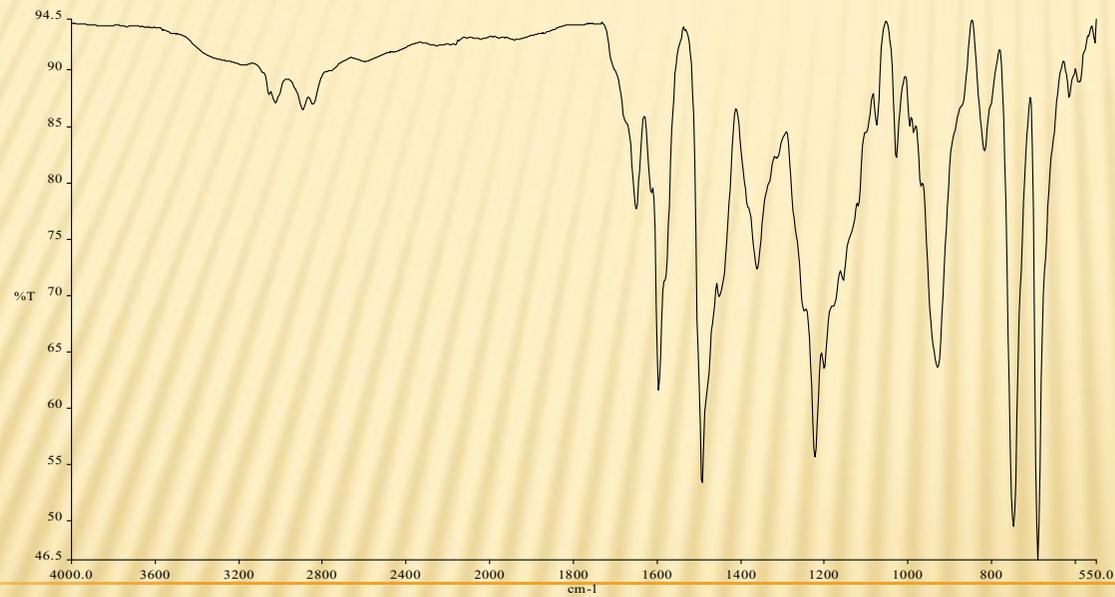
2- BUTANONA



RESULTADOS

Espectrometria de absorção na região do infravermelho (FT-IR)

Resina Benzoxazina desgaseificada



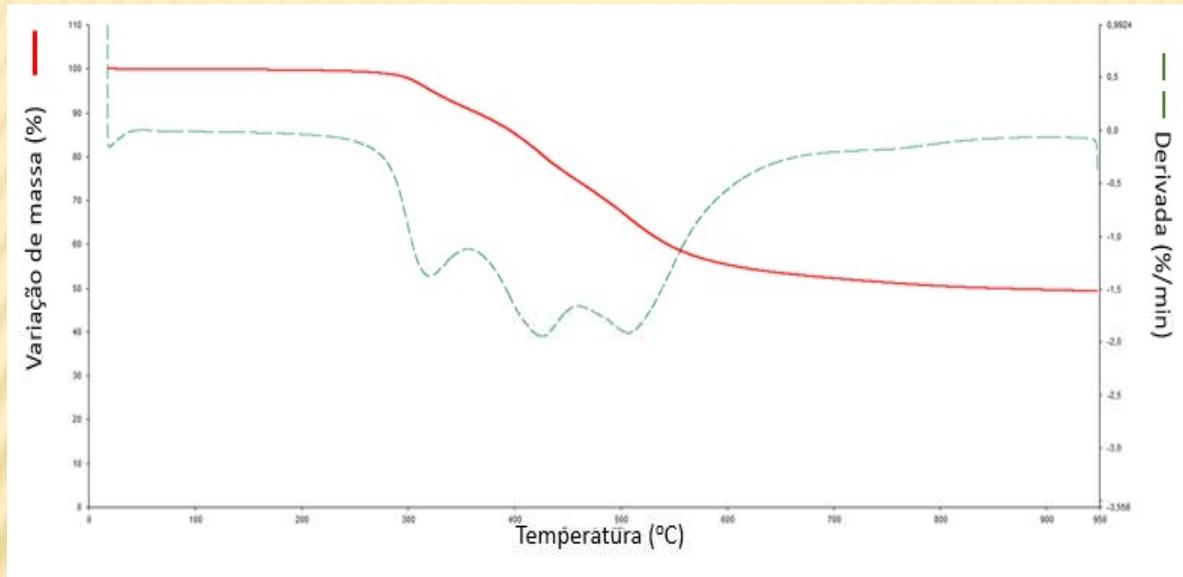
RESULTADOS

Espectrometria de absorção na região do infravermelho (FT-IR)

Número de onda (cm ⁻¹) Literatura	Atribuição	Número de onda (cm ⁻¹) Resina Desgaseificada	Transmitância (%) Resina Desgaseificada
3010-3110	estiramento C-H aromáticos	3026	87,05
2850-2960	estiramento assimétrico do carbono primário CH ₂	2896	86,48
2850-2960	estiramento assimétrico do carbono primário CH ₂	2850	86,97
~1600	estiramento C=C do anel aromático	1598	61,57
~1490	estiramento C-C aromático	1494	53,34
~1450	estiramento C-C aromático	1453	69,83
1210-1310	estiramento assimétrico Ar – O – C	1224	55,61
1010-1050	estiramento simétrico Ar – O – C	1030	82,24
920-990	deformação fora do plano C-H do anel benzênico ligado a oxazina	931	63,56
805-825	deformação angular C-H no plano aromático trissubstituído na posição 1,2,4	818	82,82
740-760	deformação angular C-H no plano aromático mono substituído ou dissustituído na posição 1,2 (orto)	749	49,44

RESULTADOS

Análise Termogravimétrica (TGA)



Resina curada

Ti = 209°C

Tf = 879°C

Perda entre 25 e 950°C 50,7%
Resíduo a 950°C de 49,3%

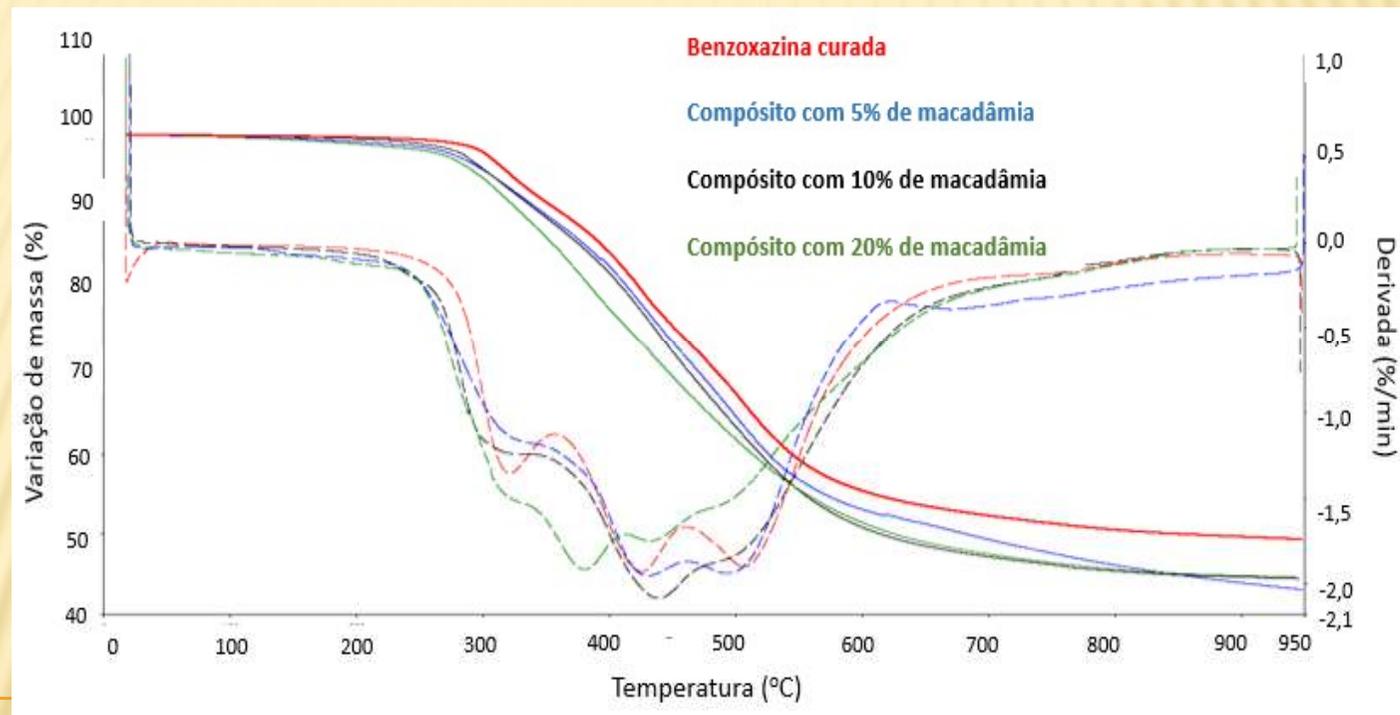
Confirmando o alto teor de carbono fixo.

Ti = 266°C

Tf = 636°C

RESULTADOS

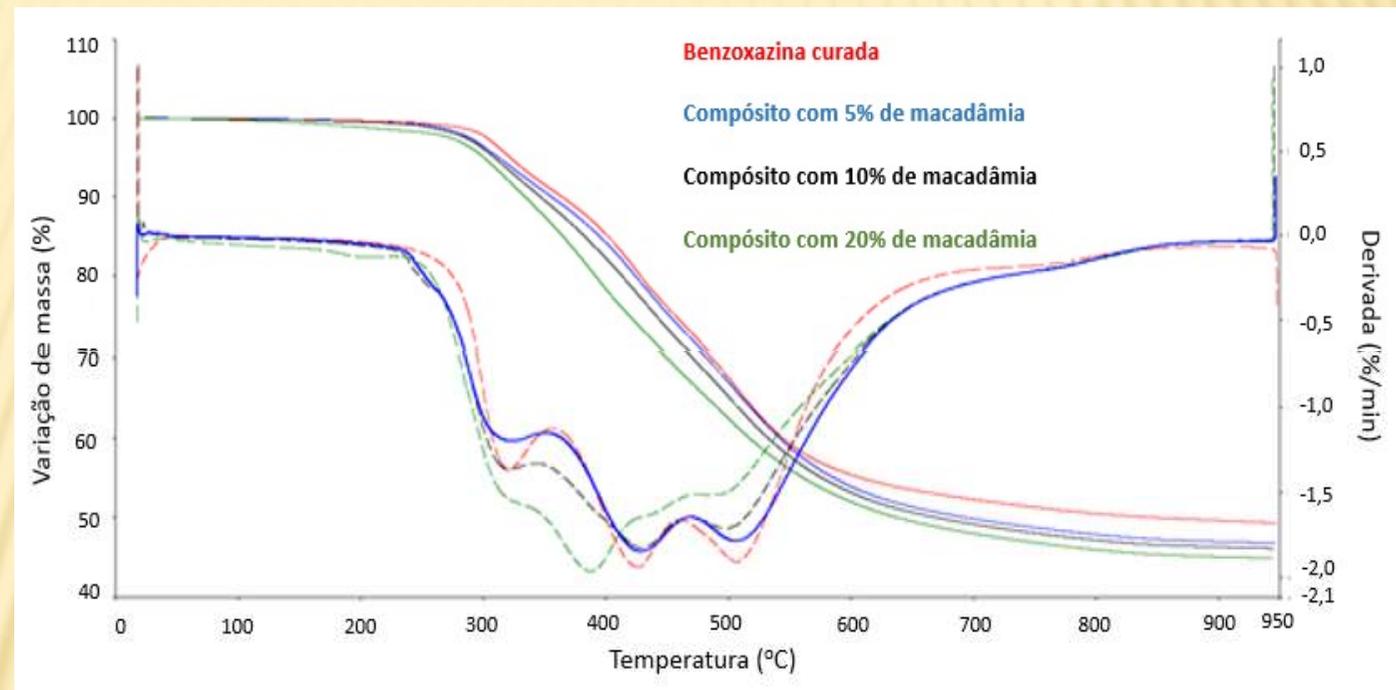
Análise Termogravimétrica (TGA)



macadâmia *in natura*

RESULTADOS

Análise Termogravimétrica (TGA)



macadâmia tratada

RESULTADOS

Amostra	Nº. de Picos	Ti (°C)	Tf (°C)	Tonset(°C)	Tendset(°C)	Perda de massa (%) entre 25 e 950°C	Resíduo (%) a 950 °C
Benzoxazina curada	3	209	879	286	586	50,7	49,3
Compósito com 5% de macadâmia <i>in natura</i>	3	208	879	273	564	56,9	43,1
Compósito com 10% de macadâmia <i>in natura</i>	3	205	878	274	599	55,5	44,5
Compósito com 20% de macadâmia <i>in natura</i>	4	214	884	274	605	55,4	44,6
Compósito com 5% de macadâmia tratado	3	208	882	271	609	53,2	46,8
Compósito com 10% de macadâmia tratado	3	208	880	280	606	53,9	46,1
Compósito com 20% de macadâmia tratado	4	217	884	275	609	55,1	44,9

RESULTADOS

Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Amostra	T _g (°C)	T pico (°C)	Tonset (°C)	Tendset(°C)	ΔH (J/g)	Cura (%)
Benzoxazina curada	143,4	247,1	213,0	271,2	26,99	91,27
Compósito com 5% de macadâmia <i>in natura</i>	142,7	251,1	212,5	282,0	26,89	91,30
Compósito com 10% de macadâmia <i>in natura</i>	141,0	248,7	214,8	274,9	14,89	95,18
Compósito com 20% de macadâmia <i>in natura</i>	145,5	248,7	217,2	276,0	9,24	97,01
Compósito com 5% de macadâmia tratado	145,1	249,6	216,4	276,5	22,53	92,27
Compósito com 10% de macadâmia tratado	146,3	249,9	212,6	275,8	14,46	95,32
Compósito com 20% de macadâmia tratado	147,0	249,7	216,6	280,9	10,53	96,59

RESULTADOS

Análise Dinâmico-mecânica (DMA)

	E'	E''	Tan D
Benzoxazina curada	132,9 ± 1,1	136,8 ± 1,6	161,0 ± 1,6
Compósito com 5% de macadâmia <i>in natura</i>	129,7 ± 1,0	132,1 ± 0,5	158,8 ± 3,8
Compósito com 10% de macadâmia <i>in natura</i>	129,7 ± 1,6	133,0 ± 0,5	159,2 ± 2,7
Compósito com 20% de macadâmia <i>in natura</i>	131,0 ± 0,9	132,0 ± 0,8	161,9 ± 1,5
Compósito com 5% de macadâmia tratado	132,5 ± 0,3	136,6 ± 0,3	154,4 ± 1,0
Compósito com 10% de macadâmia tratado	126,0 ± 0,5	130,9 ± 1,0	154,7 ± 1,2
Compósito com 20% de macadâmia tratado	125,6 ± 2,4	129,5 ± 3,0	160,8 ± 0,2

RESULTADOS

Análise Termomecânica (TMA)

	Benzoxazina curada	Compósito com 5% de macadâmia <i>in natura</i>	Compósito com 10% de macadâmia <i>in natura</i>	Compósito com 20% de macadâmia <i>in natura</i>	Compósito com 5% de macadâmia tratada	Compósito com 10% de macadâmia tratada	Compósito com 20% de macadâmia tratada
Tg (°C)	142,4	137,4	136,4	138,4	138,3	128,7	129,2

CONCLUSÃO

Diante dos resultados parciais obtidos neste trabalho, destacam-se as seguintes conclusões:

- O material extraído durante o tratamento hidrotérmico foi, em sua maioria, hemicelulose;
- A extração dos materiais lignocelulósicos se deu de forma parcial pelo método hidrotérmico;
- A temperatura de início de degradação da fibra de macadâmia ($\sim 200^{\circ}\text{C}$) permite a utilização desta para fabricação do compósito com resina benzoxazina e a cura do mesmo;
- A resina apresenta em sua composição, dois componentes, além do solvente, sendo este material, provavelmente, um tenacificante;
- O solvente utilizado na resina é o 2-butanona;

CONCLUSÃO

- As propriedades térmicas dos compósitos não variaram significativamente com a inserção da fibra;
- O acréscimo de fibras fez com que a taxa de degradação fosse mais lenta;
- Apesar da massa específica dos compósitos apresentar diminuição com o aumento do teor de biomassa, fica claro que os resultados são incoerentes, indicando elevado teor de vazios;
- Os resultados dos ensaios de DMA mostram que a componente viscosa da fibra atua no compósito fazendo com que haja perda da capacidade de amortecimento;
- Apesar de aparentemente não haver contribuído significativamente nas propriedades da amostra, o compósito anda apresenta interesse no âmbito da reciclagem, com a reinserção de material outrora inservível (casca da nós macadâmia), novamente no ciclo produtivo, diminuindo com isto o descarte em aterros sanitários e lixões.



TRABALHOS FUTUROS

Como proposta de trabalhos futuros, propõe-se:

- Utilização de uma estufa a vácuo para melhorar o tempo de cura do material;
- Realizar ensaios de tração e flexão;
- Fazer ensaios de impacto;
- Determinar o teor de biomassa e de vazios;
- Fazer os ensaios de densidade via picnometria de hélio.

A close-up photograph of several macadamia nuts on a rustic wooden surface. Some nuts are still in their dark brown, cracked shells, while others are shelled, revealing their smooth, light-colored kernels. Fresh green macadamia leaves are scattered around the nuts. The background is softly blurred, showing more of the wooden surface.

OBRIGADA PELA ATENÇÃO!!!