



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITO COM FIBRA DE BANANEIRA PARA APLICAÇÃO EM AEROMODELOS.

CARLOS HENRIQUE GONÇALVES CAMPBELL

Orientador: Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira
Coorientador: Dr. Sérgio Roberto Montoro

Volta Redonda, RJ
2020

CONTEÚDO

- ① **Objetivos da Pesquisa;**
- ② **Introdução ao Tema;**
- ③ **Embasamento Teórico;**
- ④ **Metodologia;**
- ⑤ **Resultados;**
- ⑥ **Protótipo do produto;**
- ⑦ **Conclusão.**

Objetivo Geral

- O presente trabalho buscou desenvolver e caracterizar um compósito reforçado com fibras vegetais para a confecção de um aeromodelo.

Objetivos Específicos

- Definição do tipo de fibra vegetal e matriz polimérica mais adequados para a aplicação.
- Definição da rota de beneficiamento da fibra vegetal;
- Preparação dos corpos de prova para caracterização mecânica e micro estrutural.
- Verificação das propriedades mecânicas do compósito estudado de acordo com a porcentagem de fibra na matriz e os tipos de distribuição da fibra;
- Identificação dos melhores resultados de dureza e resistência à tração e à flexão.
- Desenvolvimento do protótipo.

Compósitos com fibra vegetal

Utilizar fibras vegetais como uma nova proposta de reforço de compósitos para aplicação em aeromodelos como alternativa ao uso de fibras sintéticas

Placas de Revestimento



Fonte: SISINNO (2004)

Papel de vegetal.



Fonte: GATTI (2007)

Desenvolvimento

- Planejamento;
- Escolha de uma fibra vegetal leve e resistente;
- Construção do protótipo;
- Testes de resistência mecânica. .

Sustentabilidade

Garantir a sobrevivência dos recursos naturais do planeta

: Aeromodelo de Escala.



Fonte: PIXABAY (2008)

INTRODUÇÃO AO TEMA

Como surgiu o interesse pela fibra de bananeira?

- Visita a fabrica de objetos artesanais AGROARTE em São Bento do Sapucaí, SP

Fibra Vegetal → Folha da bananeira → Pseudocaule

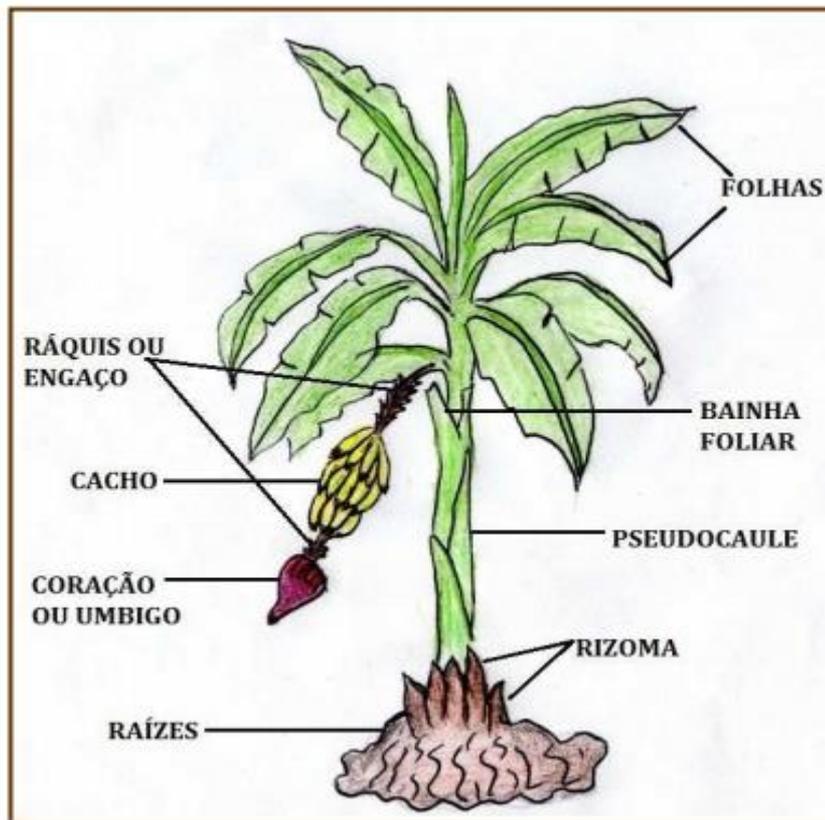
- cortar em tiras muito finas,
- cozinhar com sal grosso
- formação de liga aglutinante
- transformar a mistura em uma manta resistente e macia

Estrutura homogênea, moldável e com superfície porosa

Fibras de Bananeira

➤ **Espécie: *Musa acuminata***

Partes da bananeira



Fonte: LACERDA (2009).

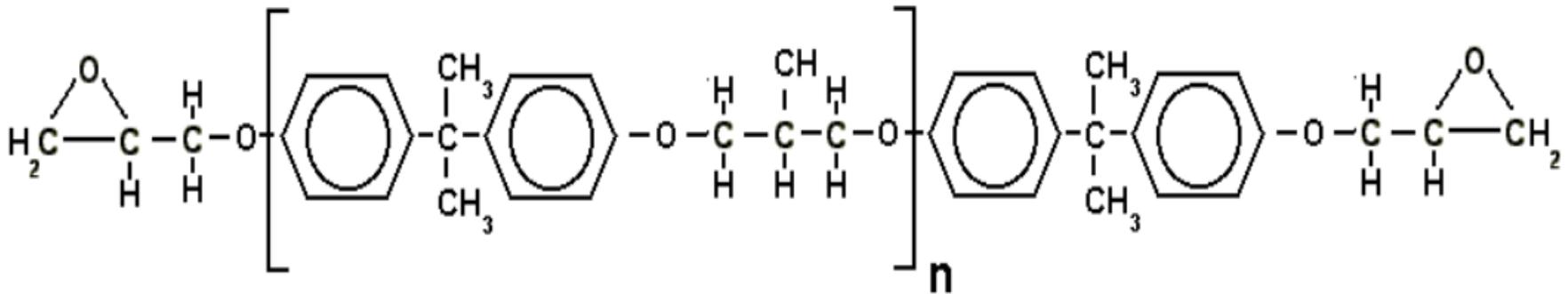


Fonte: BALZER et al. (2007) & FIBRABASIL (2018).

➤ Resina Epóxi

- Resina termorrígida que endurece quando misturada com um agente catalisador.
- Resina Epóxi – Bisfenol- A: versáteis e de menor custo

Formulado Epóxi Bisfenol-A

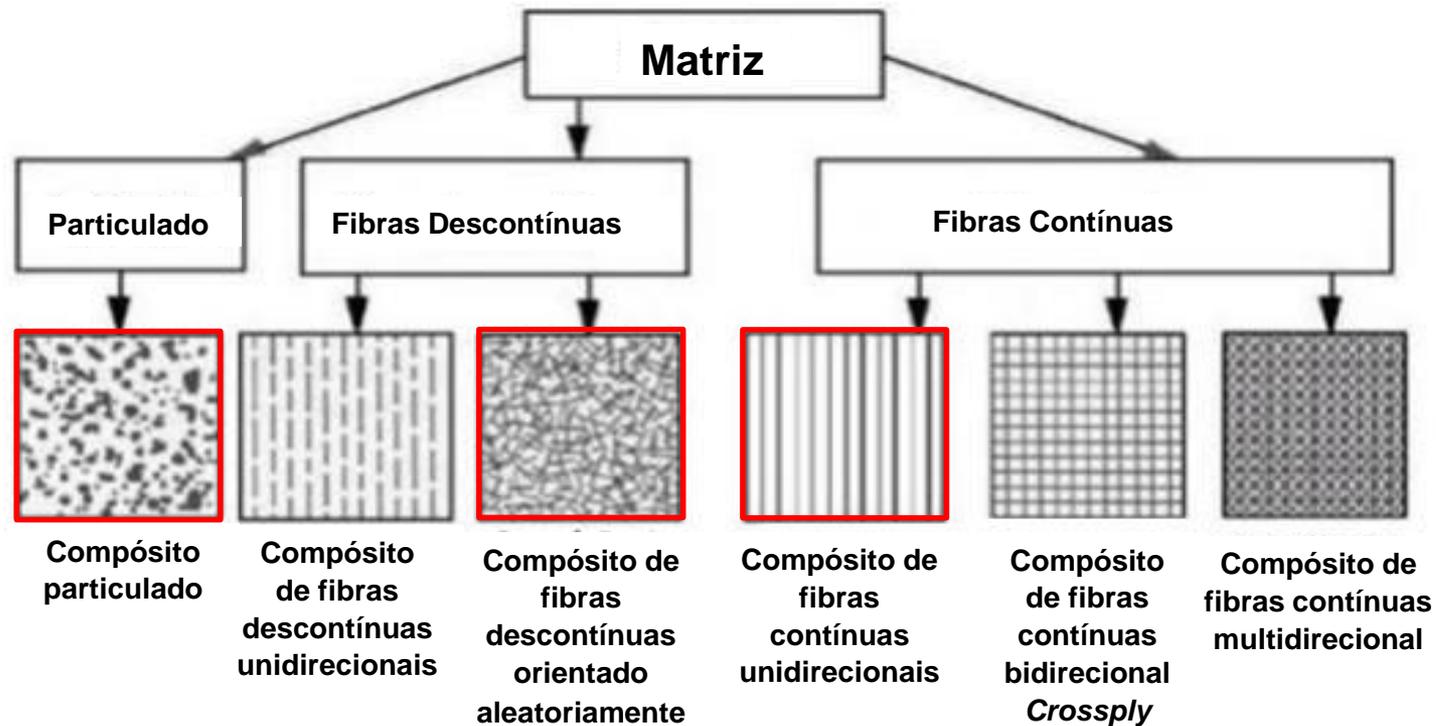


Fonte: SILAEX, 2019.

➤ **Compósitos Poliméricos**

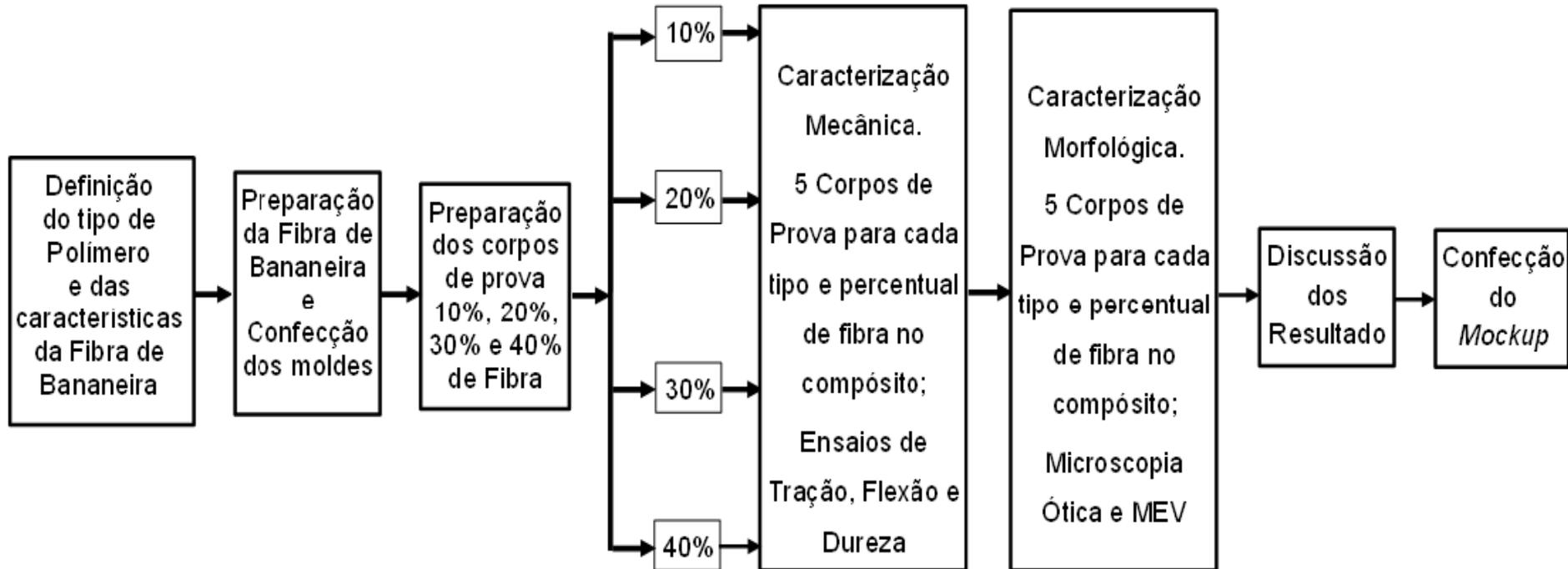
Materiais multifásicos que combinam as melhores propriedades de dois ou mais materiais distintos .

Representação de diferentes tipos de reforço com fibras.



DE PAULA, 2019.

➤ Fluxograma das etapas do trabalho.



Fonte: AUTOR (2020)

➤ Materiais utilizados

➤ RESINA



Resina Epóxi e Endurecedor.
Fonte: Redelease, 2019.

➤ FIBRA DE BANANEIRA



Fibra de bananeira.
Fonte: Autor, 2019.

➤ BORRACHA DE SILICONE



Borracha de silicone e catalisador.
Fonte: Redelease, 2019.

➤ DESMOLDANTE



Vaselina solida em pasta Industrial
Fonte: Moriá, 2019.

➤ Fibra de bananeira

Com este propósito, desenvolveu-se compósitos usando a resina epóxi como matriz polimérica e três formas de fibras de bananeira (aleatórias, trituradas e longas)

manta de fibras aleatórias



fibras trituradas

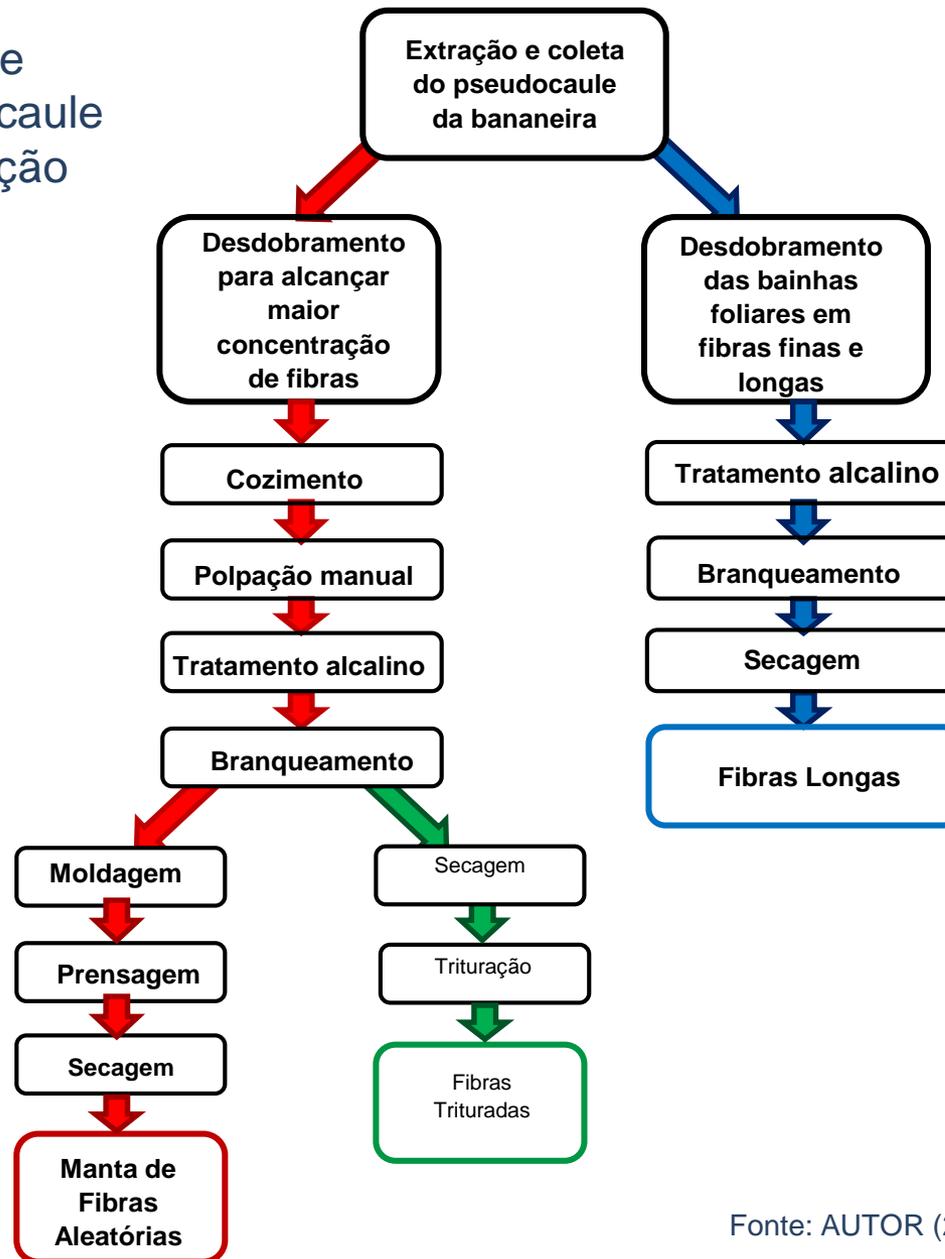


fibras longas unilaterais



Fonte: AUTOR (2020)

Fluxograma do processo de beneficiamento do pseudocaule da bananeira para a obtenção de 3 formas de fibra:



Extração das fibras de bananeira

- Pseudocaule: bainhas extraídas manualmente com 60 cm de comprimento por 1 cm de largura;
- Bainhas cortadas, lavadas e imersas em solução de ácido acético (CH_3COOH) na concentração de 0,0134 mol/L durante 12 h, para evitar a oxidação e proliferação de fungos;
- Cozimento à 100°C durante 4 h, com vigorosa agitação da mistura em intervalos de 30 min.

Preparação da fibra de bananeira.



.Fonte: AUTOR, 2019.

Preparação das fibras de bananeira

- A massa fibrosa recebeu um tratamento alcalino com hidróxido de sódio (NaOH), na concentração de 10% (m/v).
- A massa fibrosa resultante recebeu um branqueamento, com solução aquosa de hipoclorito de cálcio, $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ da marca hth, na concentração de 0,066 mol/L de cloro ativo

Cozimento e branqueamento da fibra de bananeira.



Fonte: AUTOR, (2020).

Preparação da manta de fibras aleatórias de bananeira

Preparação da manta de fibra de bananeira.

- A massa fibrosa foi colocada em uma peneira circular de tela fina de 10 Mesh com 50 cm de diâmetro, para ser moldada em forma de manta.
- (A) Manta retirada da peneira; (B) colocada em uma prensa hidráulica com 120Kg de força por 12 horas; (C) Manta retirada da prensa.



Fonte: Autor,2019.

Preparação dos moldes para confecção dos CP's

- A borracha de silicone líquida foi misturada com 5% de catalisador;
- Em seguida despejou-se a mistura sobre a placa de vidro com os corpos de prova padrão fixados no fundo desta placa;
- A placa de vidro com a borracha foi mantida por 24h em local arejado para sua cura.

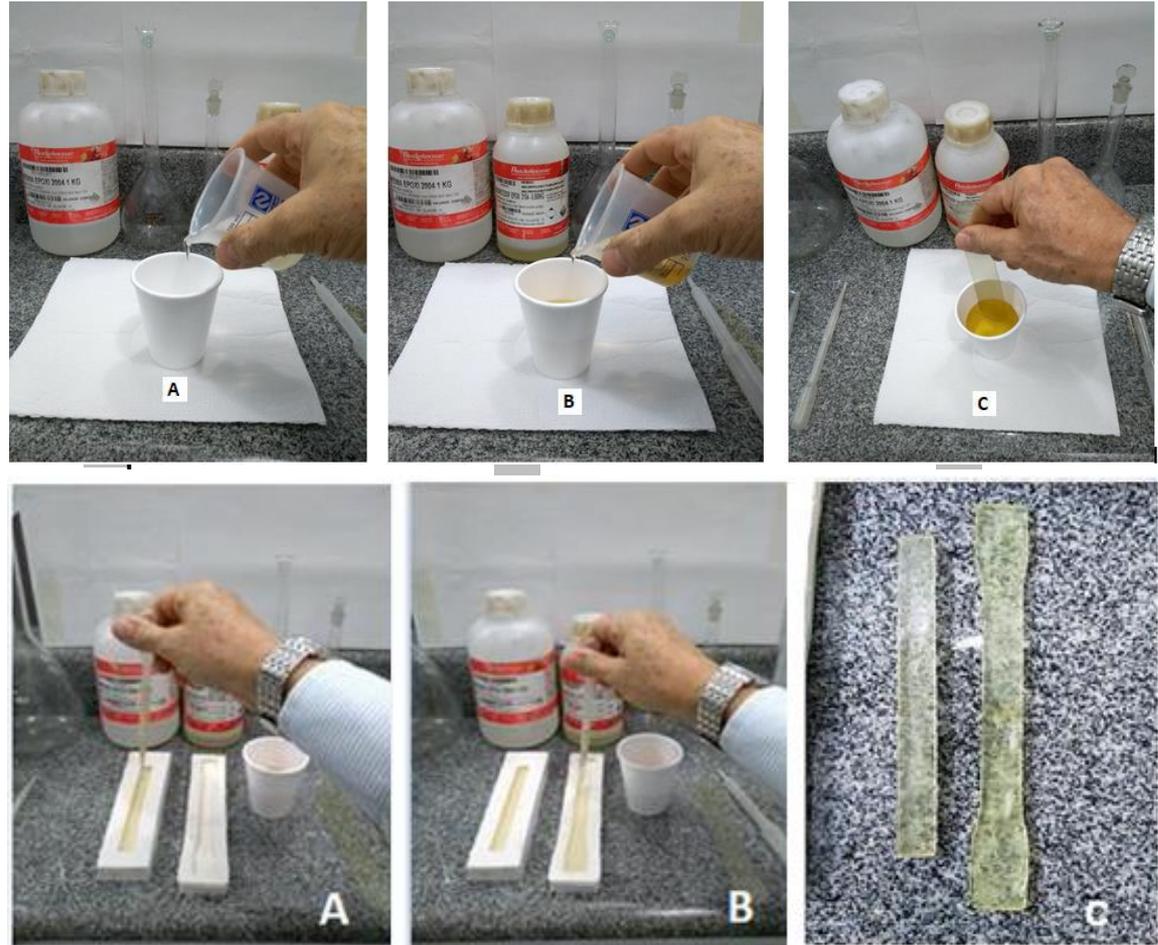
: Preparação dos moldes para a confecção dos CPs.



Preparo dos Corpos de Prova com Resina Pura

Preparação dos Corpos de Prova com resina pura.

- Preparação da mistura de resina e catalisador;
- Figura (A e B): resina pura sendo inserida nos moldes.
- Figura (C): corpos de prova com resina pura.



Fonte: AUTOR 2020.

Preparo dos corpos de prova com manta de fibra aleatória

: Preparação dos Corpos de Prova com manta e resina

- Preparação da mistura de resina e catalisador ;
- Corte da manta no formato dos moldes; pesagem da resina e fibra para determinar a proporção;
- Adição da manta de fibra com camadas intercaladas de resina;



Fonte: Autor,2019.

Preparo dos corpos de prova com fibra de bananeira triturada

- Fibras trituradas no moinho de facas da TE-650 do tipo Willye da UNESP e passadas por uma peneira de 30 Mesh.
- Mistura da fibra triturada com a resina epóxi e endurecedor.
- Confecção dos corpos de prova utilizando o molde de borracha acrílica.

Preparação dos CPs com fibra triturada e resina.



Fonte: Autor, 2019.

Preparo dos Corpos de Prova com Fibras Longas Unilaterais.

- As fibras longas e unilaterais foram retiradas das bainhas pseudocaule, tratadas com hidróxido de sódio (NaOH) e presas e alinhadas em um suporte de metal;
- Impregnação da resina epóxi nas fibras alinhadas e esticadas, formando uma peça plana e resistente após a cura do compósito;
- Marcação dos corpos de prova de tração e flexão sobre a placa do compósito e corte com o auxílio de uma mini retífica.

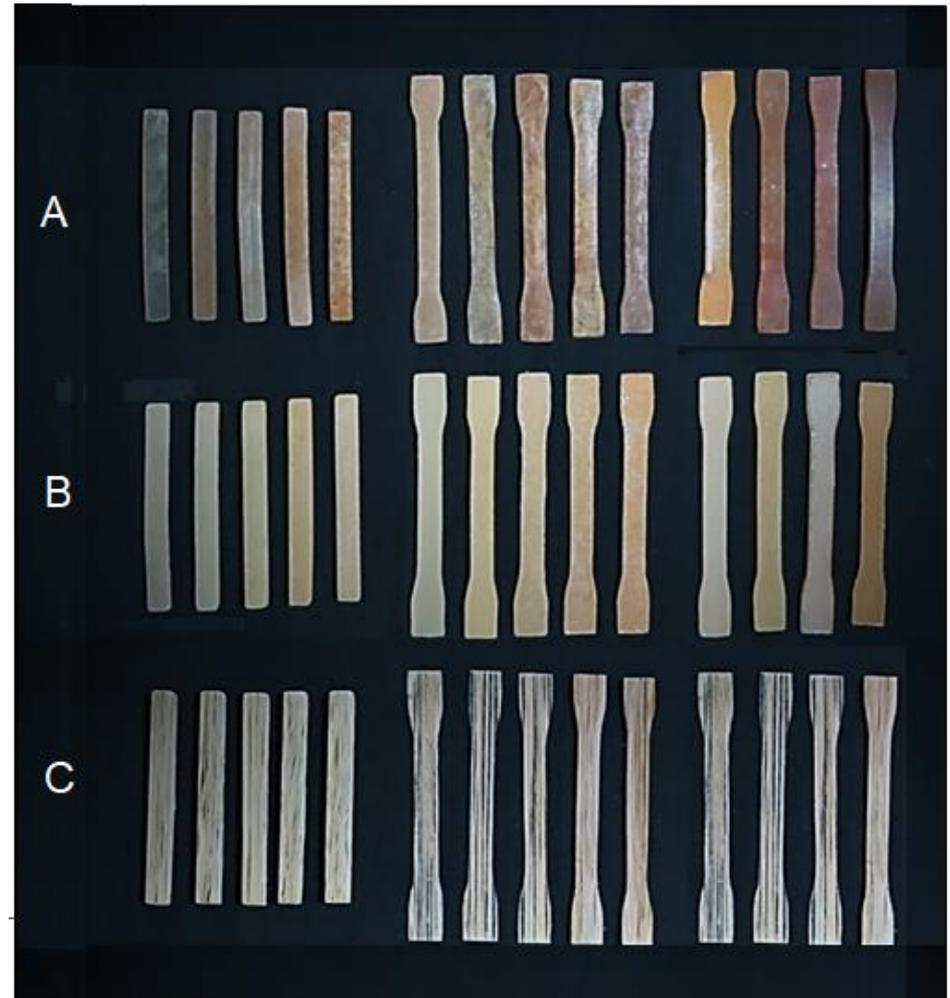
Preparação dos C P,s com fibras longas e resina epóxi.



Corpos de Prova preparados para os Ensaios Mecânicos

Figura 23: CPs de tração e flexão para todas as formas da fibra.

- A - Corpos de prova do compósito com manta de fibras aleatórias e resina epóxi nas proporções 10%, 20%, 30% e 40% de fibra;
- B - Corpos de prova do compósito com fibras trituradas e resina epóxi nas proporções 10%, 20%, 30% e 40% de fibra;
- C - Corpos de prova do compósito de fibras paralelas alinhadas e resina nas proporções 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de fibra.

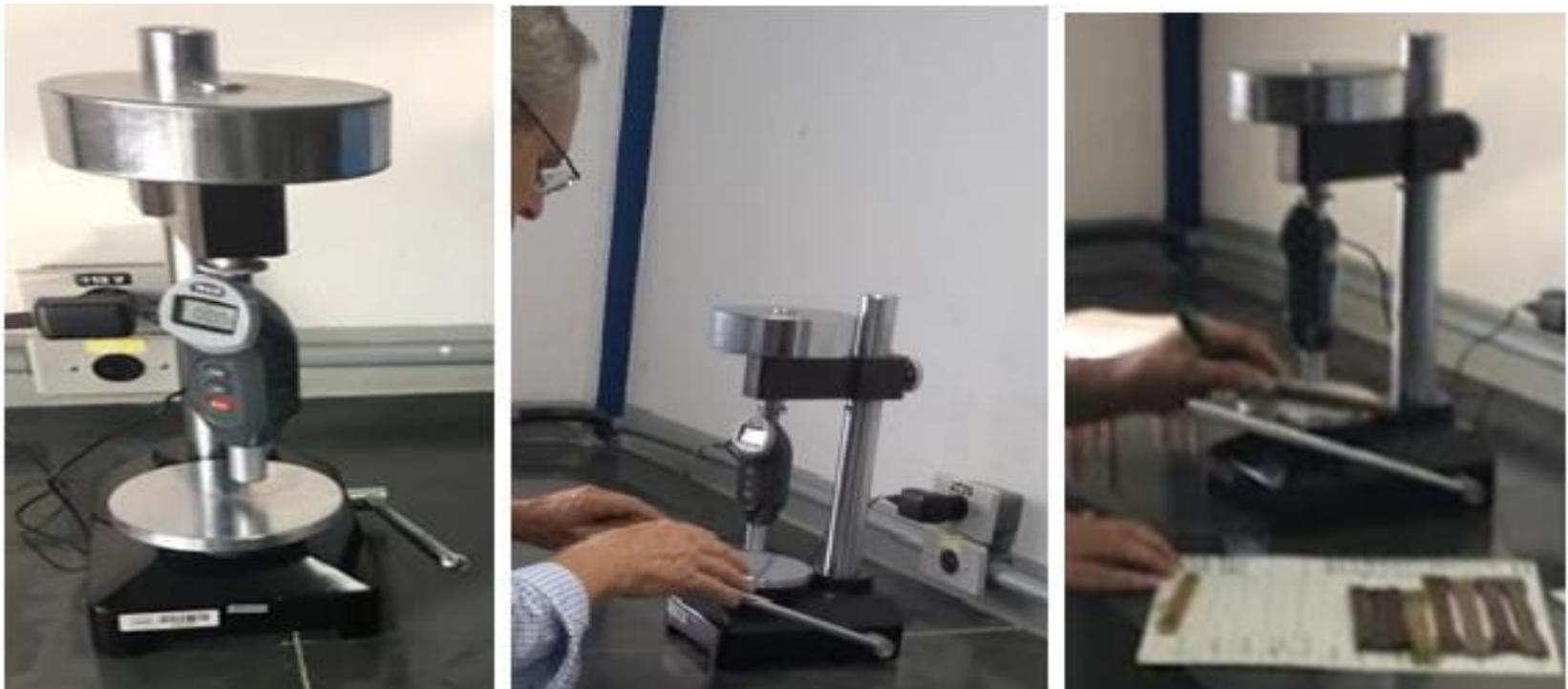


Fonte: AUTOR (2019).

➤ Ensaio de dureza

O ensaio de dureza foi realizado com base na norma NBR 7456, onde a determinação de dureza é por penetração no material. Foi utilizado o durômetro digital portátil tipo Shore D-TH 210 da UniFOA.

Figura 24: Ensaio de dureza



.Fonte: AUTOR (2019)

➤ Ensaio de tração

Para cada compósito avaliado, foram ensaiados 5 corpos de prova com dimensões, segundo a norma ASTM D 638 – 14. Os ensaios foram realizados na Máquina Universal EMIC DL-10000 da UniFOA, com célula de carga de 5 KN e velocidade de 3mm/min.

Figura 25: Ensaio de Tração

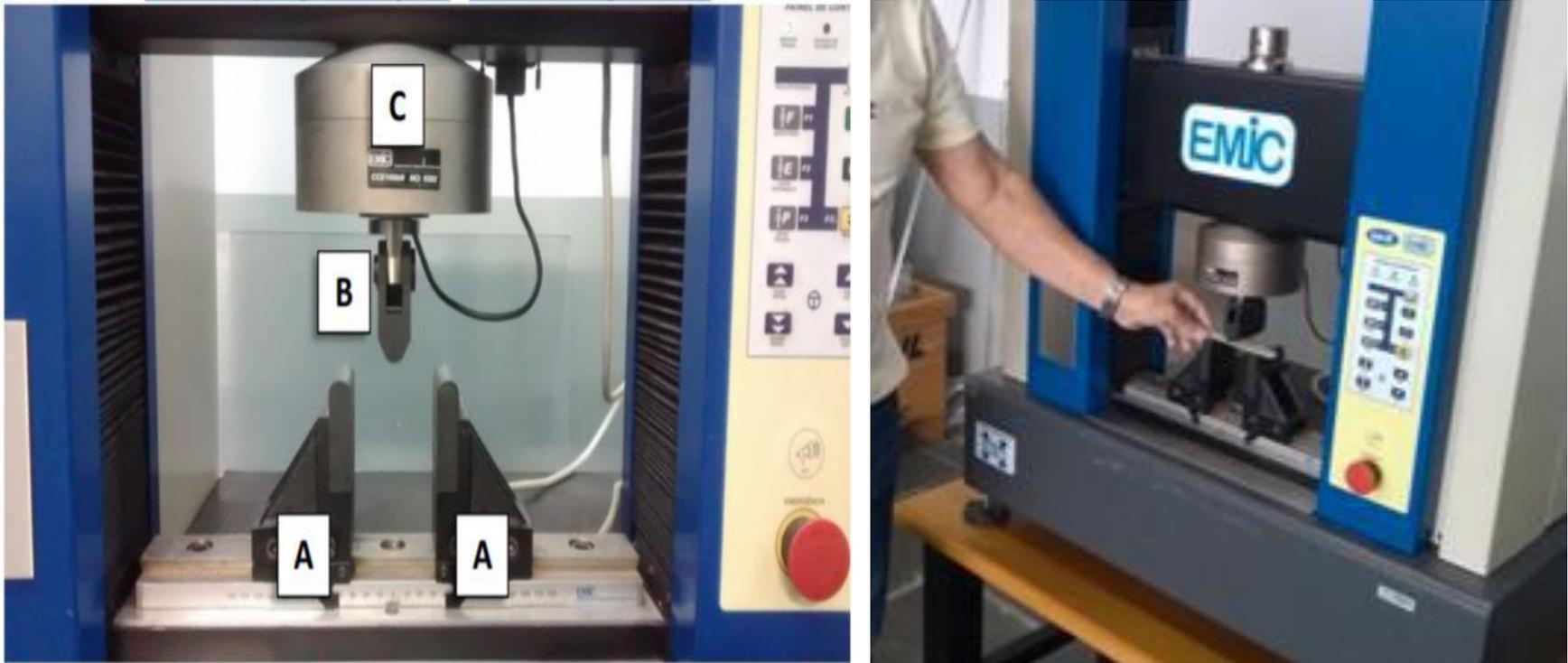


Fonte: AUTOR (2019).

➤ Ensaio de flexão

Para cada compósito avaliado, foram ensaiados 5 corpos de prova com dimensões, segundo a norma ASTM D 790-17. Os ensaios foram feitos na Máquina Universal EMIC DL-10000 da UniFOA, com célula de carga de 5 kN e velocidade de 3 mm por minuto.

Ensaio de Flexão.



Fonte: AUTOR (2019)

➤ Microscopia Ótica

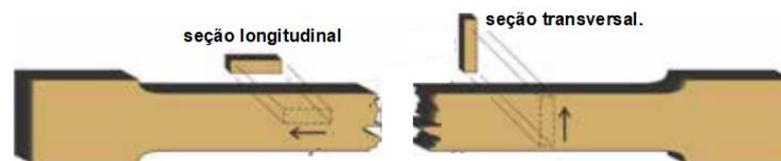
A microscopia foi realizada com o microscópio metalográfico Invertido OPTON TNM-07T-PL e *software* Scope Photo 3.0, foi utilizada lente ocular de 10X e lentes objetivas para ampliação de 100X, 200X e 400X.

Microscópio ótico OPTON TNM-07T- PL.

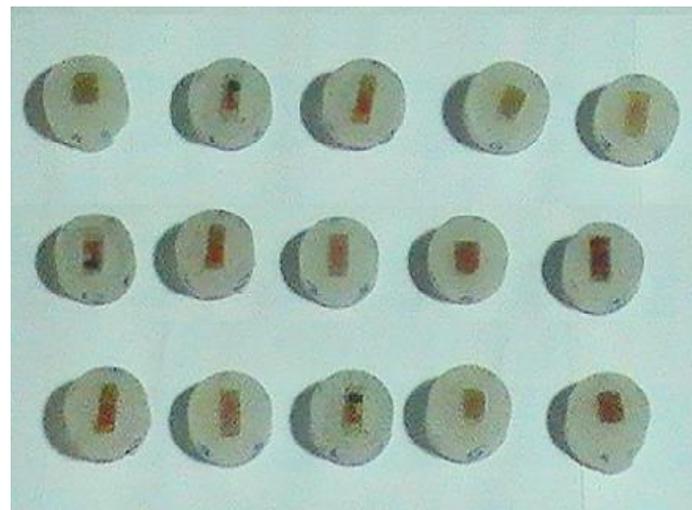


Fonte: AUTOR (2020)

Indicação das regiões analisadas.



Amostras preparadas para Microscopia Ótica.



Fonte: AUTOR (2020)

➤ Microscopia Eletrônica de Varredura.

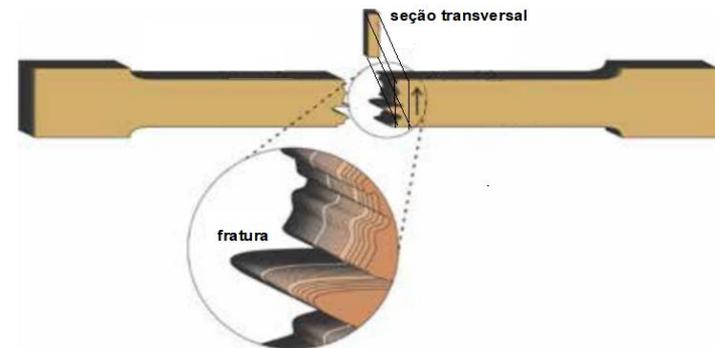
Foi utilizado o MEV - ZEISS EVO-10 da UFF, com sinal de elétrons secundários e tensão de feixe de elétrons de 20 kV, distância de trabalho de 11,5 mm e magnitude variando de 150 à 450 vezes, com programa de imagens "Image - J".

MEV - ZEISS EVO-10.

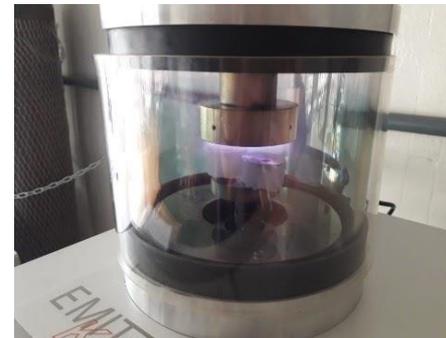


Fonte: AUTOR (2020)

Indicação da região analisada.



Amostras preparadas com pulverização de Au-Pd.



Fonte: AUTOR (2020)

Ensaio mecânicos.

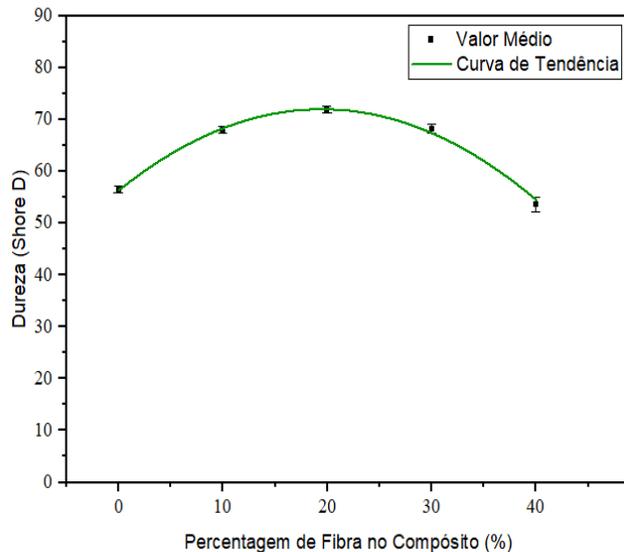
Ensaio de dureza

Resultados dos ensaios de dureza dos compósitos com 0%, 10%, 20%, 30% e 40% de fibras de bananeira aleatória, triturada e longa em resina epóxi.

Fibras aleatórias

equação da curva de tendência

$$Y = -0,0336x^2 + 1,5968x + 52,937$$

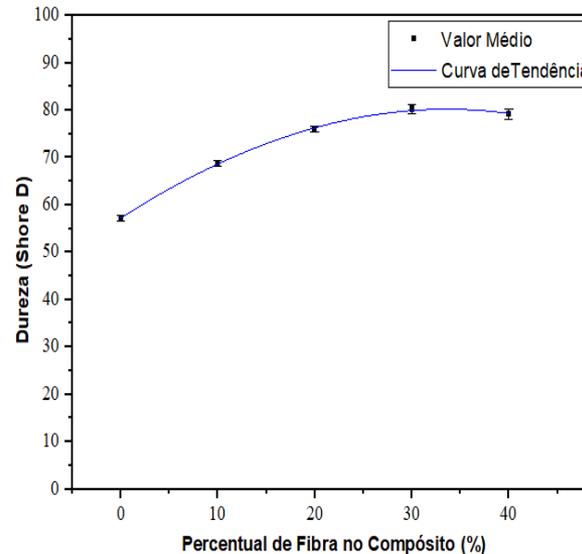


Fonte: AUTOR (2020)

Fibras trituradas

equação da curva de tendência

$$Y = -0,0251x^2 + 1,6707x + 52,82$$

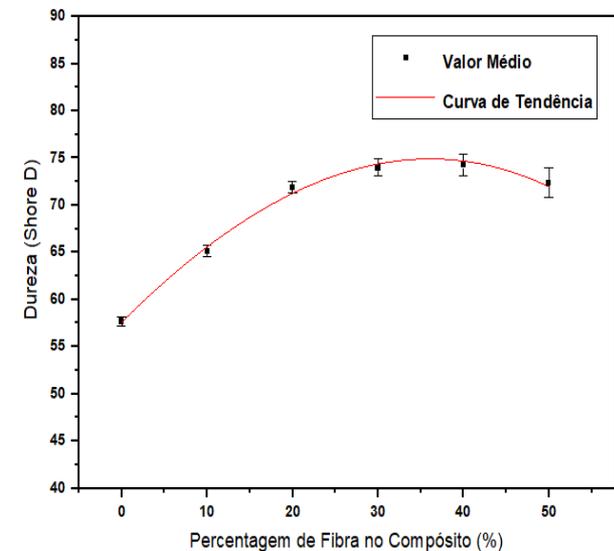


Fonte: AUTOR (2020)

Fibras longas

equação da curva de tendência

$$Y = -0,05x^3 - 0,016x^2 + 1,096x + 57,99$$



Fonte: AUTOR (2020)

Ensaio mecânicos.

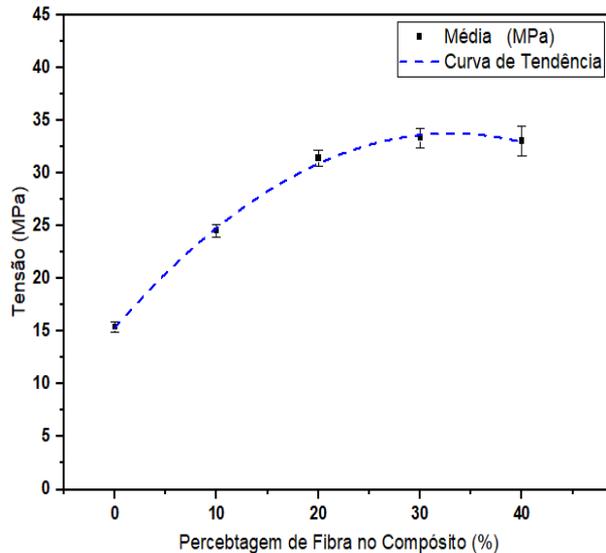
Ensaio de tração

Resultados dos ensaios de tração dos compósitos com 0%, 10%, 20%, 30% e 40% de fibras de bananeira aleatória, triturada com resina epóxi. Sendo a fibra longa ensaiada também com o teor de 50% .

Fibras Aleatórias

equação da curva de tendência

$$Y = -0,017x^2 + 1,1204x + 15,326$$

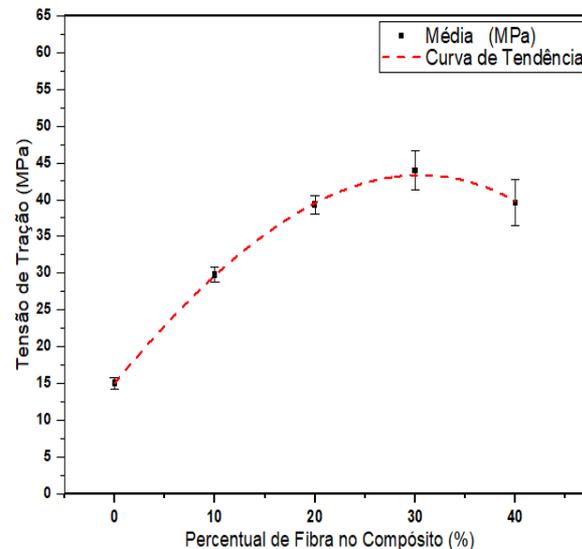


Fonte: AUTOR (2020)

Fibras Trituradas

equação da curva de tendência

$$Y = -0,003x^3 - 0,0113x^2 + 1,5879x + 15,05$$

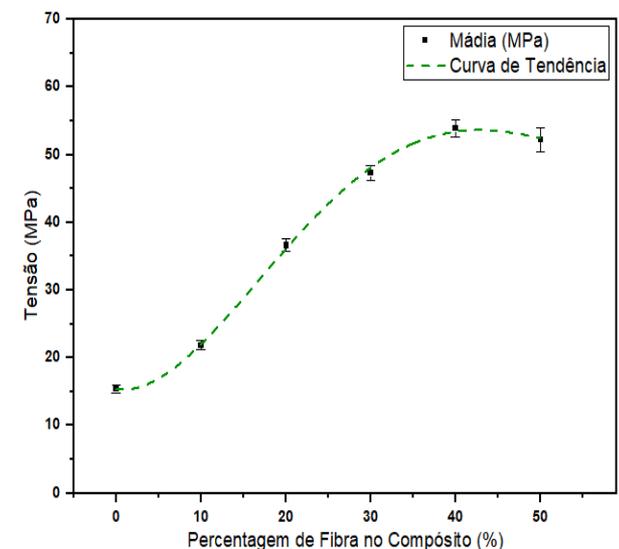


Fonte: AUTOR (2020)

Fibras Longas

equação da curva de tendência

$$Y = -817,2x^3 + 480,49x^2 + 38,20x + 15,05$$



Fonte: AUTOR (2020)

Ensaio mecânicos.

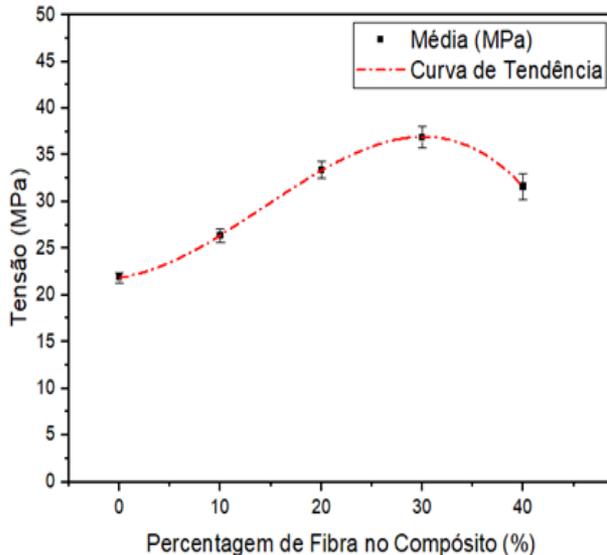
Ensaio de flexão

Resultados dos ensaios de flexão dos compósitos com 0%, 10%, 20%, 30% e 40% de fibras de bananeira aleatória, triturada com resina epóxi. Sendo a fibra longa ensaiada também com o teor de 50% .

Fibras Aleatórias

equação da curva de tendência

$$Y = -0,09x^3 + 0,04x^2 + 0,15x + 21,85$$

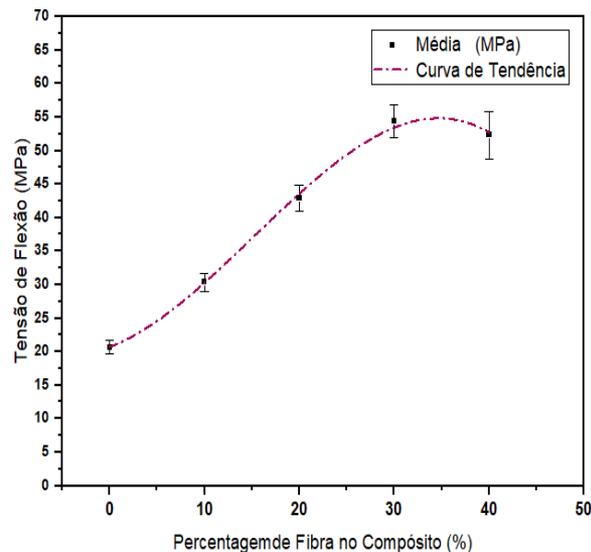


Fonte: AUTOR (2020)

Fibras Trituradas

equação da curva de tendência

$$Y = -0,01x^3 + 0,06x^2 + 0,40x + 20,82$$

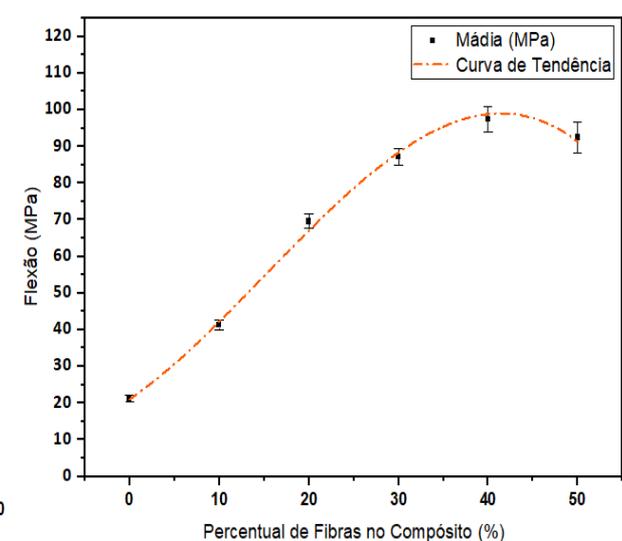


Fonte: AUTOR (2020)

Fibras Longas

equação da curva de tendência

$$Y = -0,01x^3 + 0,03x^2 + 1,95x + 20,62$$

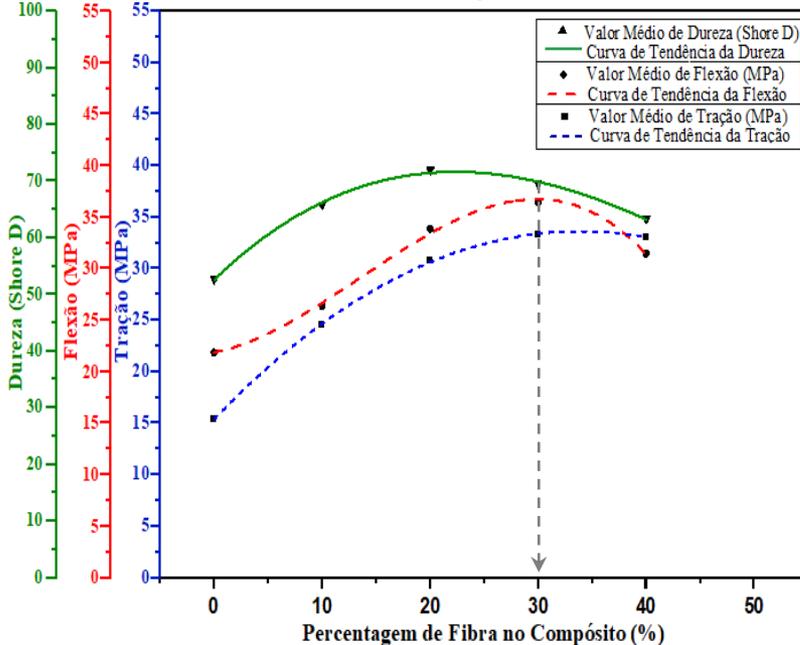


Fonte: AUTOR (2020)

Ensaio mecânicos

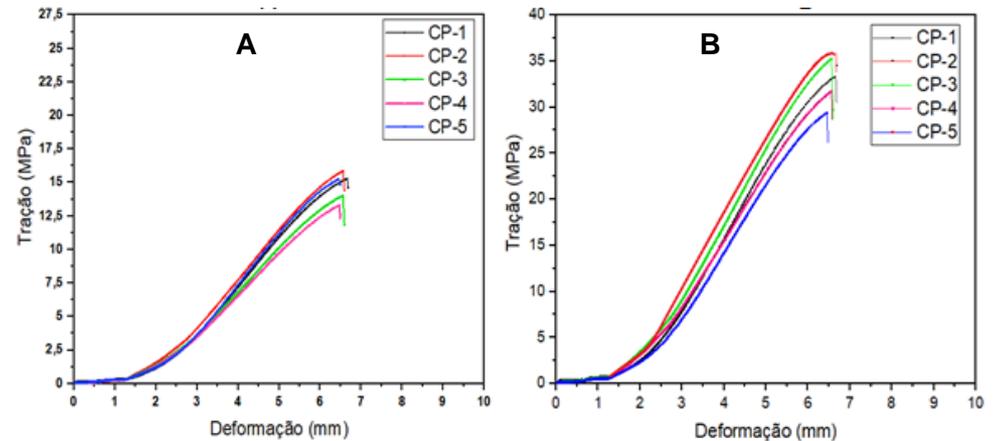
➤ Discussão dos resultados dos compósitos com manta de fibras aleatórias.

Gráfico com a sobreposição das curvas de dureza, tração e flexão



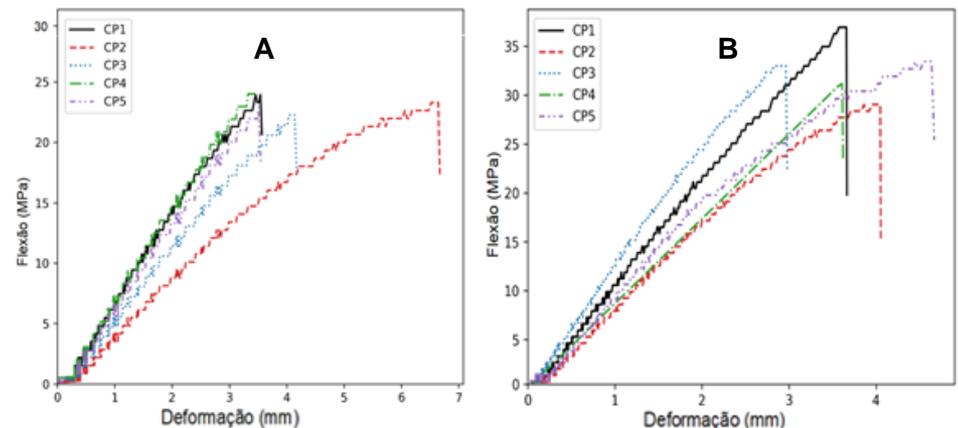
Ensaio de Tração

A - Resina pura, B - Resina epóxi com 30% de fibras aleatórias.



Ensaio de Flexão

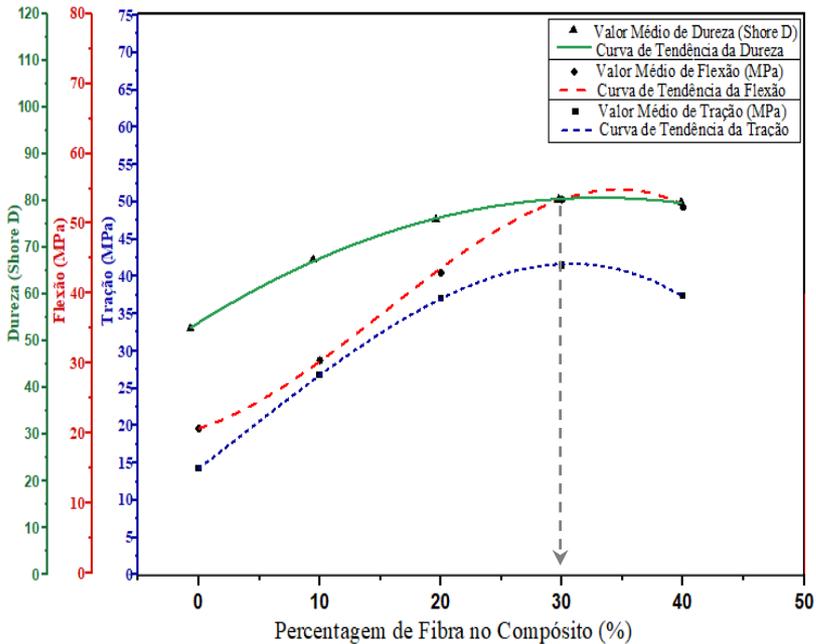
A - Resina pura, B - Resina epóxi com 30% de fibras aleatórias.



Ensaio mecânicos

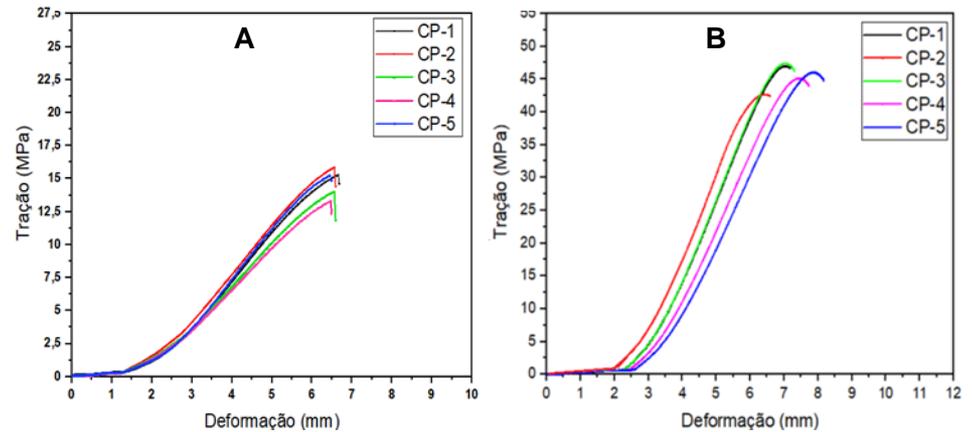
➤ Discussão dos resultados dos compósitos com fibras trituradas.

Gráfico com a sobreposição das curvas de dureza, tração e flexão



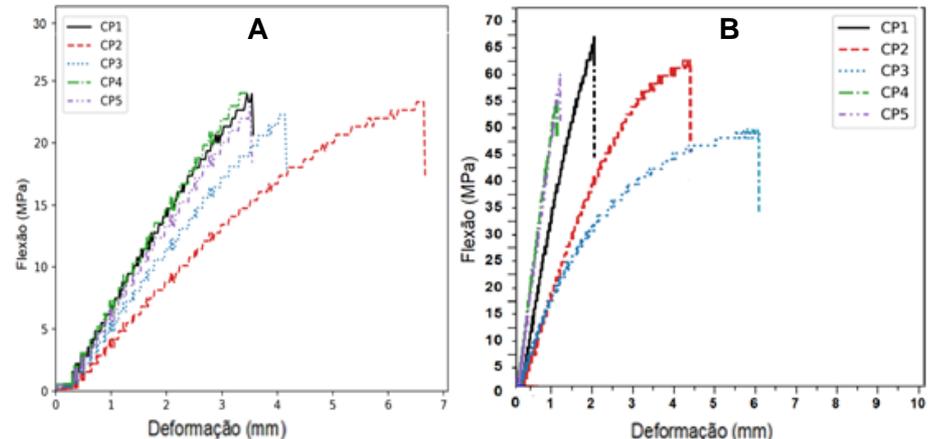
Ensaio de Tração

A - Resina pura, B – Resina epóxi com 30% de fibras trituradas .



Ensaio de Flexão

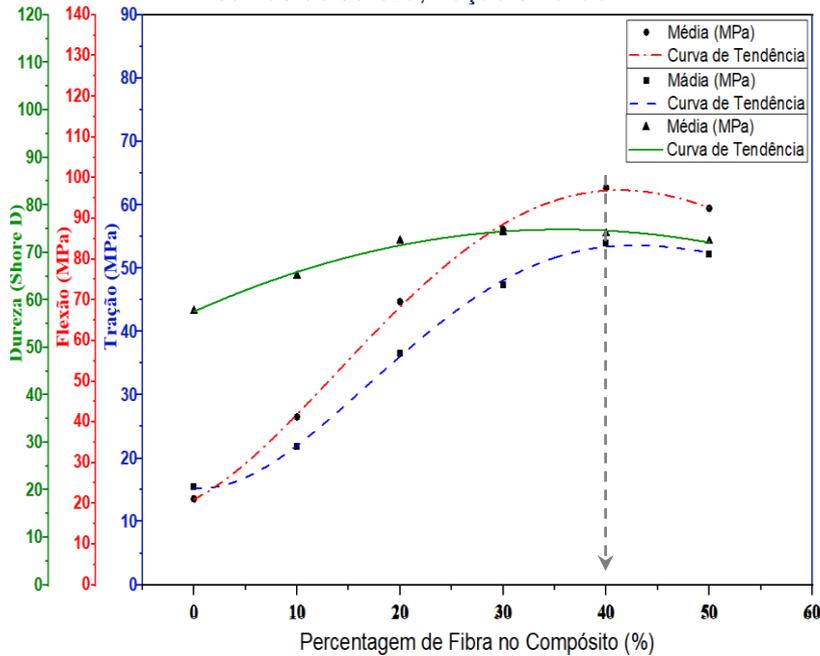
A - Resina pura, B – Resina epóxi com 30% de fibras trituradas .



Ensaio mecânicos

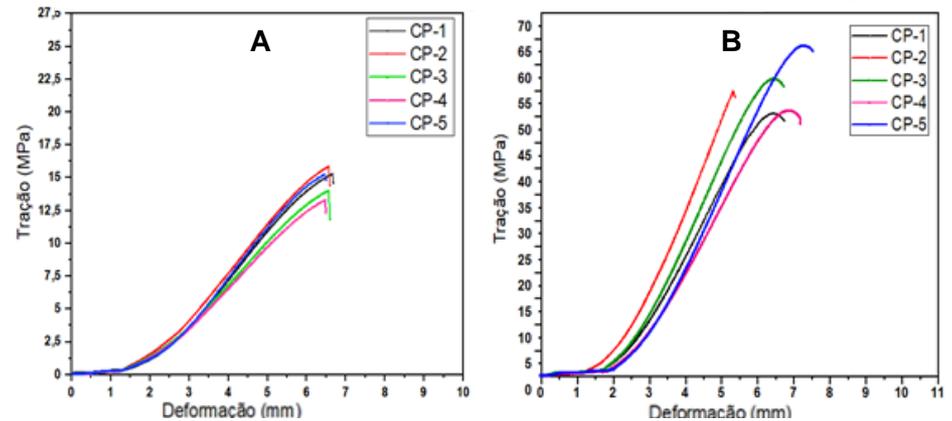
- Discussão dos resultados dos compósitos com fibras longas unilaterais.

Gráfico com a sobreposição das curvas de dureza, tração e flexão



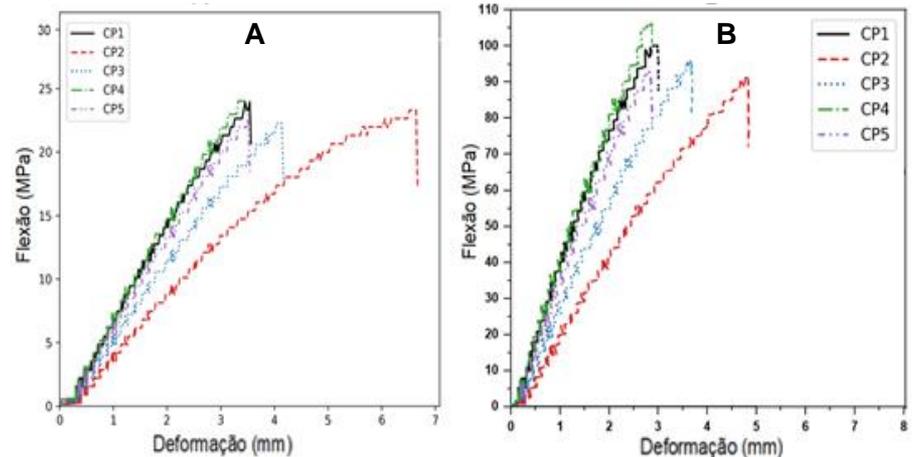
Ensaio de Tração

A - Resina pura, B - Resina epóxi com 30% de fibras longas .



Ensaio de Flexão

A - Resina pura, B - Resina epóxi com 30% de fibras longas .



Ensaio mecânicos

- Discussão dos resultados dos compósitos com manta de fibras aleatórias, fibras trituradas e longas unilaterais.

Compósito com Fibras Aleatórias
Ensaio de: dureza, tração e flexão.

Teor de fibra no compósito	Dureza Média (Shore D)	Tração Média (MPa)	Flexão Média (MPa)
0%	52,68	15,38	21,45
10%	65,87	24,57	26,38
20%	72,01	31,42	33,41
30%	69,53	33,35	36,87
40%	63,52	33,08	31,62

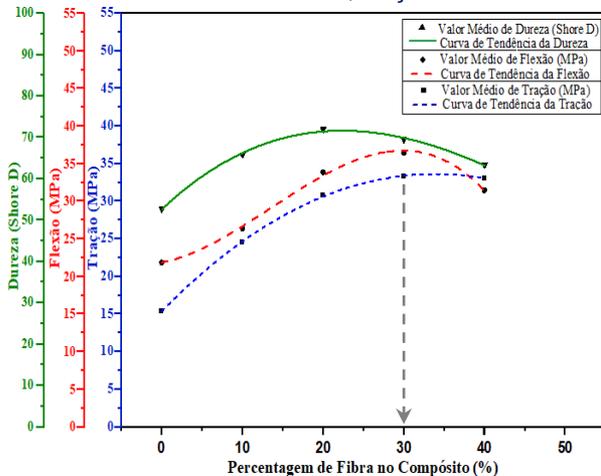
Compósito com Fibras Trituradas
Ensaio de: dureza, tração e flexão.

Teor de fibra no compósito	Dureza Média (Shore D)	Tração Média (MPa)	Flexão Média (MPa)
0%	52,68	14,99	20,98
10%	67,36	29,73	30,37
20%	76,01	39,3	42,94
30%	80,27	43,98	54,38
40%	79,58	39,58	52,31

Compósito com Fibras Longas
Ensaio de: dureza, tração e flexão.

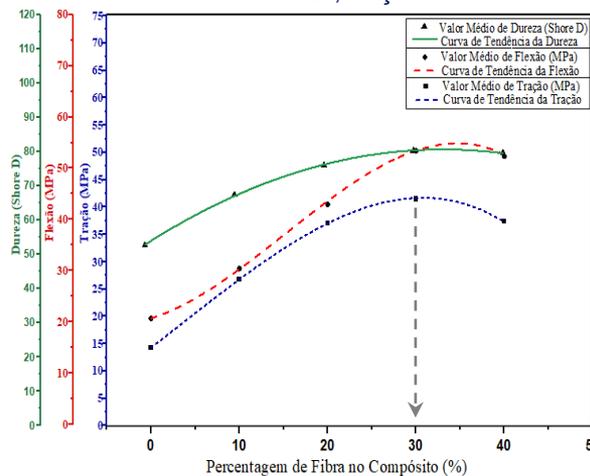
Teor de fibra no compósito	Dureza Média (Shore D)	Tração Média (MPa)	Flexão Média (MPa)
0%	57,69	15,34	21,75
10%	65,14	21,86	41,25
20%	72,51	36,6	69,68
30%	73,97	47,28	87,27
40%	73,85	54,73	97,51
50%	72,38	52,25	92,48

Gráfico com a sobreposição das curvas de dureza, tração e flexão



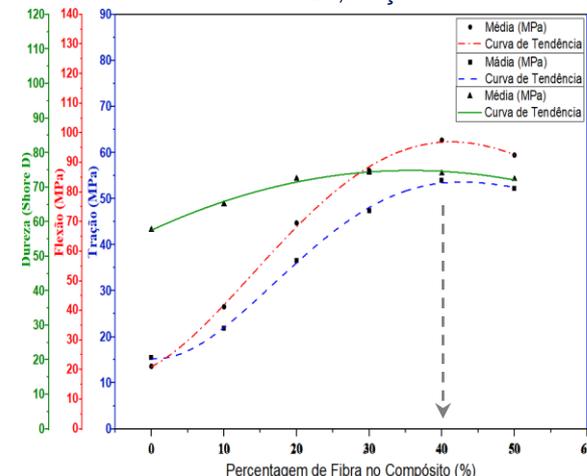
Fonte: AUTOR (2020)

Gráfico com a sobreposição das curvas de dureza, tração e flexão



Fonte: AUTOR (2020)

Gráfico com a sobreposição das curvas de dureza, tração e flexão



Fonte: AUTOR (2020)

Ensaio mecânicos

- Tabela comparativa entre os compósitos desenvolvidos neste trabalho e outros compósitos da literatura, com fibra de bananeira.

Compósitos com Fibras de Bananeira	Resistência à Tração (MPa)	Resistência à Flexão (MPa)
Desenvolvidos neste trabalho:		
30% de manta de fibras de bananeira aleatórias e resina epóxi	33,35	36,87
30% de fibras de bananeira trituradas e resina epóxi	43,98	54,38
40% fibras longas de bananeira e resina epóxi	54,73	97,51
BADRINATH; SENTHILVELAN, 2004. Fibras de bananeira (fibra de bananeira, matriz epóxi, unidirecional, sem tratamento)	20,05	126,67
BOOPALAN et al, 2013. Fibras de banana da Índia (matriz epóxi, hand lay up convencional, tecido de fibra de bananeira)	17,92	58,06
SAPUAN et al, 2006. Tecido de fira de bananeira (matriz de poliuretano, sanduíche fibra de bananeira a 190°C, sem tratamento)	47,02	75,15
SHARMA; KUMAR, 2012. Fibra de bananeira e poliuretano (matriz de poliuretano, sanduíche, banana, 190°C, sem tratamento)	27,40	10,80
ZAMAN et al, 2012. Fibras de banana de Bangladesh (matriz de polipropileno, sanduíche a 190°C, banana, vários tratamentos).	36,30	-

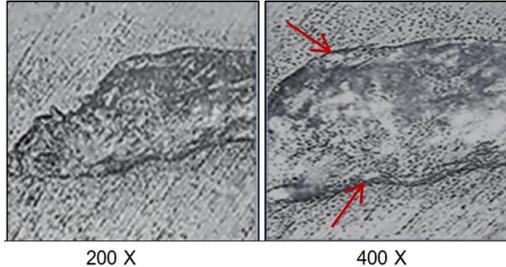
Fonte: AUTOR (2020)

Caracterização Morfológica

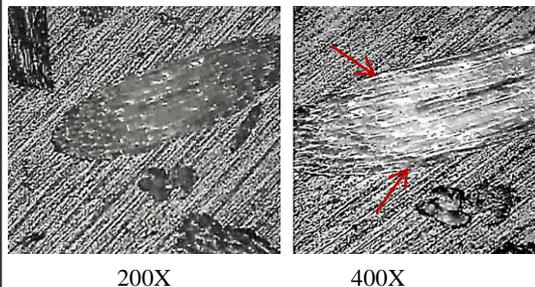
- Microscopia Ótica dos compósitos com manta de fibras aleatórias, fibras trituradas e longas unidirecionais

Fibras Aleatórias

Compósito com 30% de Fibras Aleatórias - corte transversal



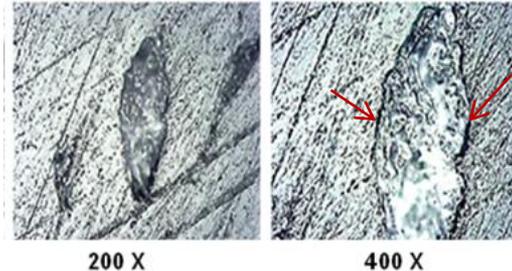
Compósito com 30% de Fibras Aleatórias - corte longitudinal



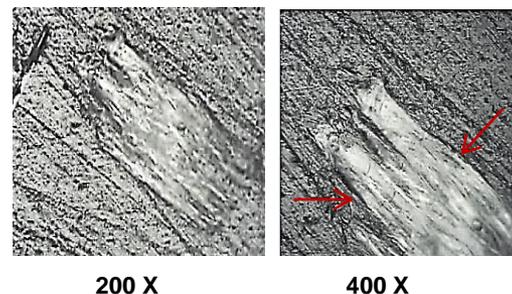
Fonte: AUTOR (2020)

Fibras Trituradas

Compósito com 30% de Fibras Trituradas - corte transversal



Compósito com 30% de Fibras Trituradas - corte longitudinal



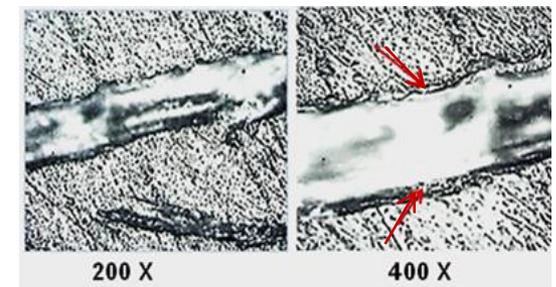
Fonte: AUTOR (2020)

Fibras Longas

Compósito com 40% de Fibras Longas - Corte transversal



Compósito com 40% de Fibras Longas - corte longitudinal



Fonte: AUTOR (2020)

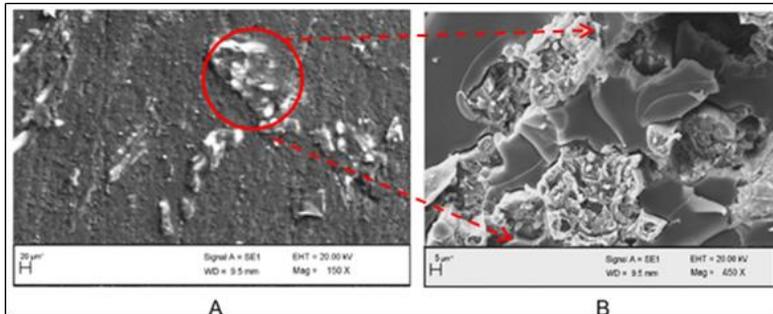
Caracterização Morfológica

- Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com manta de fibras aleatórias, fibras trituradas e longas unidirecionais

Compósito com Fibras Aleatórias

Corte transversal na região da ruptura

A- Ampliação de 150 X; B - Ampliação de 450 X.

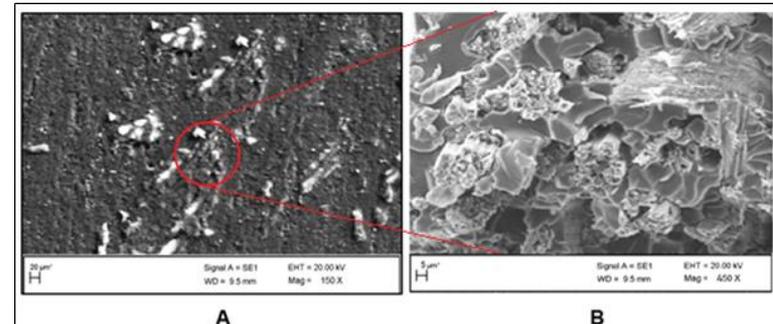


Fonte: AUTOR (2020)

Compósito com Fibras Trituradas

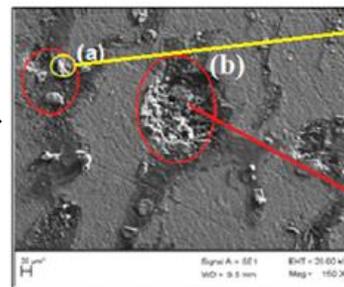
Corte transversal na região da ruptura

A- Ampliação de 150 X; B - Ampliação de 450 X.

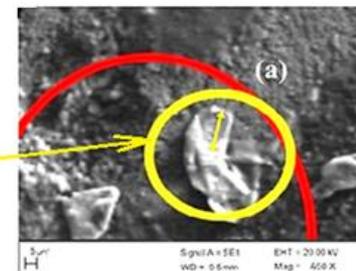


Fonte: AUTOR (2020)

Compósito com Fibras Longas
Corte transversal na região da ruptura

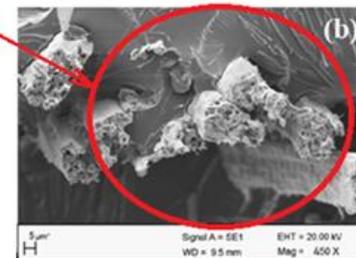


Ampliação de 150 X
a) Fibra unitária
b) grupo de fibras;



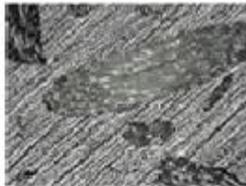
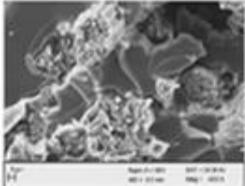
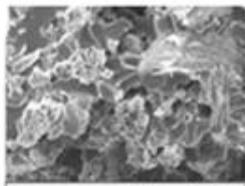
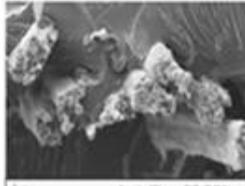
Ampliação de 450 X.
a) fibra unitária

Fonte: AUTOR (2020)



Ampliação de 450 X.
b) grupo de fibras

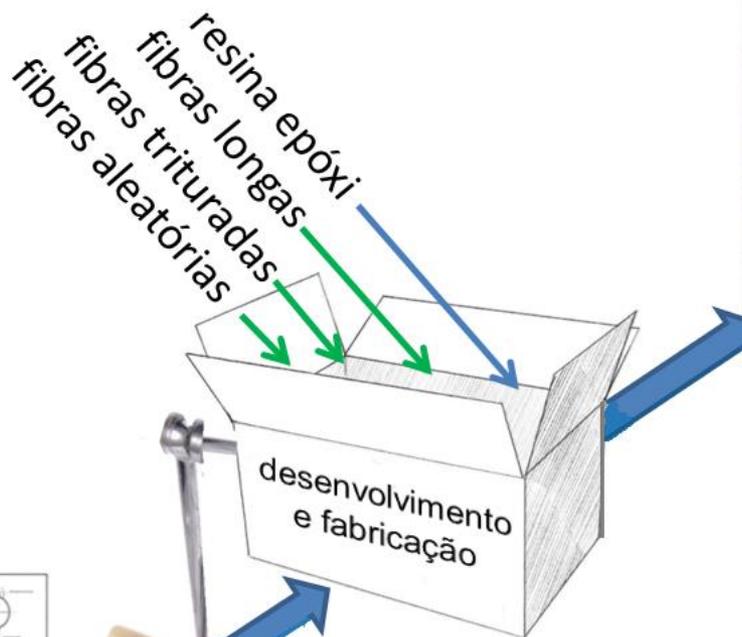
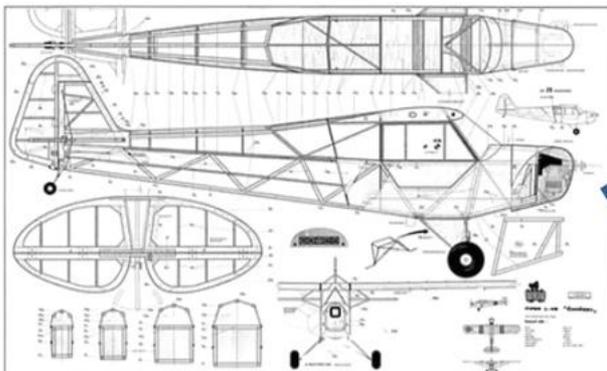
- Tabela comparativa entre os tipos de compósitos de fibra de bananeira desenvolvidos neste trabalho .

Compósito	Máxima Dureza (Shore D)	Máxima Tração (MPa)	Máxima Flexão (MPa)	Imagem da Microscopia Ótica	Imagem do MEV	Aspecto dos compósitos
30% de Fibras Aleatórias e Resina Epóxi	72,01	33,32	36,87			
30% de Fibras Trituradas e Resina Epóxi	80,27	43,98	54,38			
40% de Fibras Longas e Resina Epóxi	74,27	54,73	97,51			

Fonte: AUTOR (2020)

A escolha do aeromodelo foi considerada pelo autor um grande desafio para confirmar o bom desempenho dos compósitos desenvolvidos nesse trabalho, por exigir leveza e resistência para atender às exigências aerodinâmicas.

projeto do aeromodelo



aeromodelo de fibra de bananeira pronto para voar



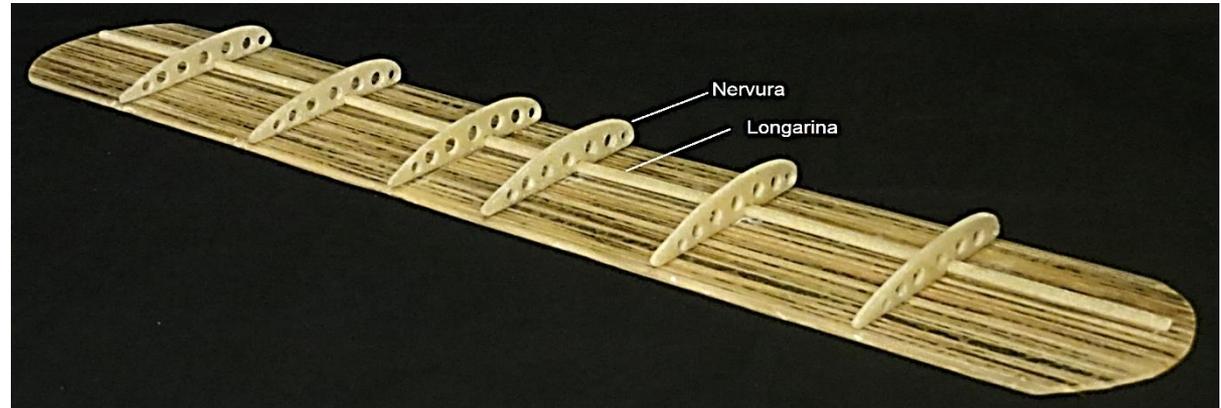
Para a parte inferior da asa e a parte inferior da fuselagem do aeromodelo usou-se o compósito com fibras longas e resina epóxi



Para a fabricação das nervuras das asas e longarinas da fuselagem foi usado o compósito com fibras trituradas e resina epóxi.



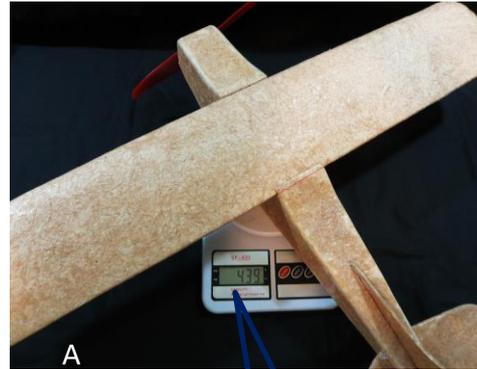
Nervuras e longarinas da asa feitas com fibras trituradas e resina epóxi já montada sobre a parte inferior da asa.



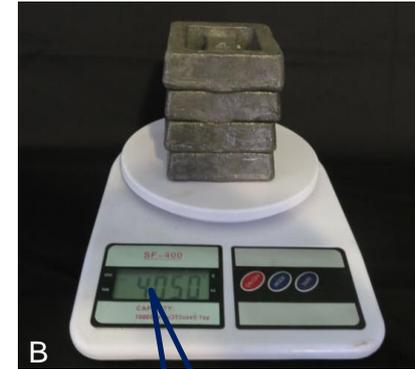
O compósito com manta de fibras aleatórias e resina epóxi foi usado no revestimento da asa e corpo do aeromodelo,



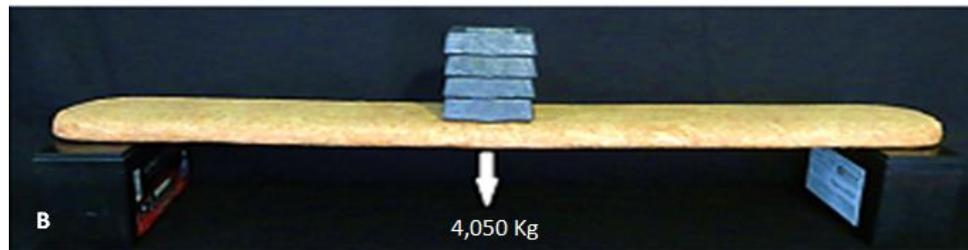
Para demonstrar que a asa do aeromodelo construído com fibra de bananeira e resina epóxi, cumpre as exigências definidas pelas normas [RBAC-E 94](#) (ANAC) e [AIC-N 17](#) (DECEA) sobre a resistência da asa para suportar as forças aerodinâmicas, aplicou-se uma carga de 4,050 kg, que corresponde a, praticamente, 10 vezes o peso do total do aeromodelo.



0,439 kg



4,050 kg



Conclusão do revestimento da asa e do corpo do aeromodelo.



CONCLUSÃO

➤ Neste trabalho foi possível comprovar, pelos valores obtidos nos ensaios mecânicos, que a distribuição das fibras de bananeira na matriz polimérica exerce influência direta nos resultados de resistência mecânica do compósito

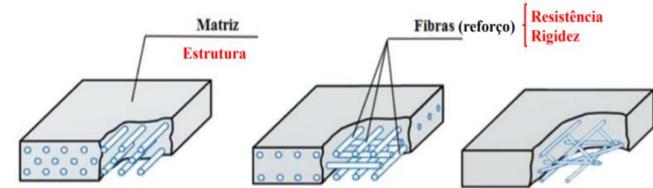


Figura 09 : Material Compósito.
Fonte: betaeq.com.br

➤ Vale também salientar que o tratamento alcalino com (NaOH) foi primordial para a extração dos componentes não celulósicos da fibra, facilitando a quebra da lignina e uma parte da celulose amorfa, facilitando a perfeita impregnação da resina em suas cadeias reticulares. A boa adesão interfacial aumentou a transferência de tensão entre a matriz e o reforço, garantindo um bom desempenho mecânico do compósito.



A- Sem tratamento



B- Com tratamento

➤ Em síntese, concluiu-se que será possível o desenvolvimento de compósitos de resina epóxi reforçado com fibras de bananeira, bastante versáteis e resistentes que exijam esforços mecânicos, quanto para usos em coberturas que necessitem de maleabilidade, oferecendo soluções adequadas de acordo com a forma de preparo de cada compósito específico.

➤ TESTE EM VOO EXPERIMENTAL

O aeromodelo foi submetido aos testes em voo experimental, constituído de 10 pousos, 10 decolagens, 5 arremetidas e algumas manobras como: looping, roll e curva invertida.



Os resultados foram bastante satisfatórios apresentando uma boa performance aerodinâmica como boa sustentação, estabilidade de voo e respostas rápidas aos comandos.



Obrigado!

