

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA

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

MESTRADO EM MATERIAIS

NÍVEL MESTRADO

Autor:

CARLOS HENRIQUE GONÇALVES CAMPBELL

Orientador:

Prof. DSc. ALEXANDRE ALVARENGA PALMEIRA

Banca Examinadora:

Prof. DSc. ALEXANDRE ALVARENGA PALMEIRA

Prof. DSc. ALEXANDRE FERNANDES HABIBE

Prof. DSc ROBERTO OLIVEIRA MAGNAGO

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

CAMPBELL, C.H.¹;

1- UniFOA - Campus Oezio Galotti - Três Poços, Volta Redonda - RJ. Cep: 27240-560.

RESUMO

O presente trabalho desenvolveu e caracterizou um compósito reforçado com fibras de bananeira e resina epóxi para aplicar na fabricação de aeromodelos. Foram desenvolvidos compósitos usando a resina epóxi como matriz polimérica e três formas de fibras de bananeira (aleatórias, trituradas e longas unilaterais) como reforço. Os resultados dos ensaios dos compósitos mostraram que a tensão de ruptura aumentou proporcionalmente ao percentual de fibra, alcançando valores máximos com 30% de fibras aleatórias e trituradas, e 40% para fibras longas unilaterais. No compósito com fibras aleatórias o ensaio de tração alcançou 33,35 (MPa) e o de flexão 36,87 (MPa), para as fibras trituradas obteve-se 43,89 (MPa) de tração e 54,38 (MPa) de flexão, já para as fibras longas o limite máximo de resistência a tração alcançou 54,25 (MPa) e 97,50 (Mpa) para flexão.. Nas análises morfológicas as imagens do (MEV) mostraram que as fibras tratadas com NaOH apresentaram paredes celulares externas mais porosas devido à mudança na morfologia da superfície das fibras tratadas, facilitando a impregnação da resina epóxi. O compósito com fibras longas unilaterais apresentou o melhor resultado de tração e flexão devido ao alinhamento das fibras na direção dos esforços atuantes, otimizando seu desempenho mecânico, enquanto o compósito com fibras trituradas apresentou o melhor resultado de dureza, já o compósito com manta de fibras aleatórias apresentou ótima homogeneidade e acabamento superficial, sendo os três tipos de organização de fibras indicados para diferentes aplicações. Os resultados mostraram que a leveza e resistência dos compósitos estudados, tornaram a sua utilização possível para a confecção das peças estruturais e revestimento do aeromodelo, Indicando uma alternativa mais sustentável para manufatura desses aviões.

Palavras-chave: compósitos, fibras naturais, bananeira, epóxi, aeromodelo.

1. INTRODUÇÃO

Com o passar das últimas décadas, houve um grande avanço no estudo dos materiais compósitos, em sua maioria, na área estrutural utilizando fibras naturais ao invés de sintéticas. Esse ponto se dá pelo fato de ambas as fibras, sintéticas e naturais, possuírem excelentes propriedades mecânicas e térmicas. As propriedades agregadas são fortemente dependentes da interação da fibra com a matriz, bem como seus parâmetros microestruturais como o diâmetro, comprimento, distribuição e arranjo da interação (NERY, 2018).

As fibras naturais tem conquistado a atenção do meio acadêmico e industrial devido as grandes vantagens apresentadas com seu uso, valendo ressaltar a grande abundância de fibras na natureza, sua biodegradabilidade, reciclabilidade, não toxicidade e que também podem ser incineradas (BLEDZKI; FRANCISZCAC; MELJON, 2015; LACERDA et AL, 2014; MIOTTO; DIAS, 2015; ZANG et al., 2015; ALKBIR et al., 2016). Dentre as fibras naturais mais utilizadas, destacam-se as de sisal, coco, curuá, bambu, pinus e bananeira (GODOY, 2018).

O uso de matérias primas renováveis vem sendo o objetivo de diversos estudos e pesquisas devido ao seu potencial substituição de derivados petroquímicos (ALKBIR et al., 2016; ASSIM et al., 2015). O grande potencial brasileiro na produção de fibras é de ótimo interesse industrial devido às vantagens que essa apresenta como por sua vez a grande produção da produção de bananeiras no Brasil que ocupam cerca de 500 mil hectares de terra sendo considerada por sua vez como a segunda fruta mais cultivada em solo brasileiro (SEBRAE, 2007).

As fibras vegetais, também comumente conhecidas como fibras lignocelulósicas na literatura, apresentam células esclerenquimadas em sua composição, ou seja, células que compõem a sustentação desse tecido que por sua vez são caracterizados por conferir resistência e flexibilidade para a parede celular. As fibras vegetais são compostas principalmente pela celulose, hemicelulose e lignina (BALLESTEROS et al., 2019; BRITO DINIZ et al., 2021).

A celulose possui em sua estrutura diversas hidroxilas que permitem a ocorrência de ligações químicas como as ligações de hidrogênio intra e intermolecular que por sua vez contribui para o alto nível de rigidez da fibra. A hemicelulose é um componente da classe heterogênea de polímeros que representa em geral 15-35 % da biomassa vegetal lignocelulósica. Já a lignina é o material que dá resistência e rigidez as paredes celulares, sendo considerado na natureza como biopolímero aromático encontrado em grande quantidade. Tanto a lignina como a hemicelulose tem função de agir como barreira natural a degradação

microbiana que serve por sua vez como uma espécie de proteção mecânica a fibra. Já a celulose se destaca devido a sua cristalinidade (GODOY, 2010; ORTEGA et al., 2016).

A fibra retirada do seu pseudocaule da bananeira é do tipo lignocelulósica, que se destaca dentre as fibras naturais por ter o maior comprimento, grau de cristalinidade, além de apresentar um alto percentual de celulose na sua composição química e uma ótima resistência à tração (SILVA, 2011). As fibras de bananeira se destacam por ser de cultivo fácil em países tropicais, porém deve-se ter uma especial atenção no tempo de resgate do pseudocaule, pois após oferecer o fruto, ele é cortado e depositado no solo e se ali ficar por muito tempo, pode facilitar a proliferação de fungos devido à alta umidade incidente nas plantações, causando danos ao meio ambiente. Por esse motivo o pseudocaule tem que ser resgatado logo depois do corte (BRIDGWATER, 2012).

Um dos desafios na utilização das fibras de bananeira quando se tratando de compósitos poliméricos é a obtenção de uma interação adequada entre a fibra e a matriz, os métodos mais estudados são a interação química através da adição de agentes de acoplamento, que por sua vez provoca a modificação da fibra ou da matriz. Os métodos mais estudados é a interação química através da adição de agentes de acoplamento, modificação da fibra ou modificação da matriz. Vários tratamentos para modificação da fibra são utilizados em compósitos com polímeros termoplásticos para melhorar as propriedades, podendo ser físicos ou químicos. O processo físico de moagem possibilita obter fibras com tamanho menores aumentando a área de contato entre a fibra e a matriz polimérica (Djidjelli, et al. 2007).

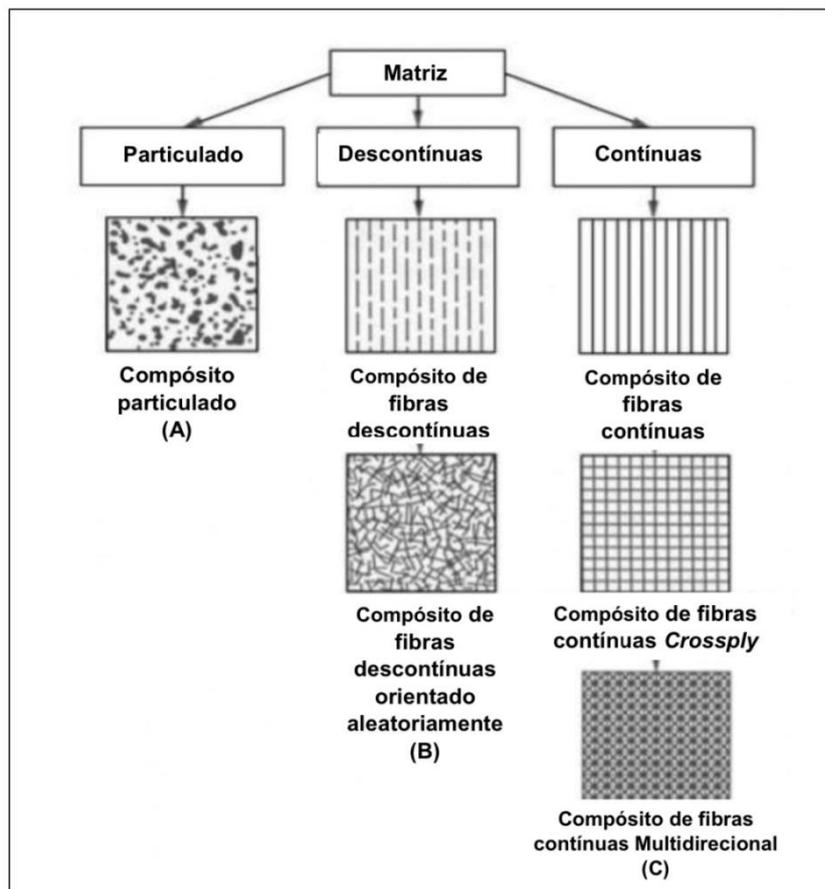
O método químico de mercerização é o mais comum por ser de simples exequibilidade e um dos mais econômicos, que consiste em um tratamento alcalino a base de hidróxido de sódio NaOH, (BALZER et al., 2007). O valor econômico agregado ao desenvolvimento de compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais é de suma importância para o desenvolvimento de um futuro sustentável, que por sua vez pode ser considerado como a manutenção progressiva das capacidades de sustentação do meio ambiente (LOZANO, 2020). É importante ressaltar que, além da importância de uma maior dinamicidade voltada para o desenvolvimento materiais de baixo impacto ambiental e que atendam a demanda desejada, a complexidade da extração artesanal da fibra é de baixo custo (Capitani e Garavello, 2007; ROSA et al., 2011).

A constituição de um material compósito polimérico pode ser dividida em matriz e reforço, onde a matriz possui característica principal de conferir estrutura ao material. Os materiais compósitos podem ser considerados como multifásicos de modo a combinar de forma criteriosa as melhores propriedades de dois ou mais materiais distintos. Nesta perspectiva,

destaca-se que as propriedades dessas resinas podem ser controladas por mudanças de formulação bem como as condições de preparo de cura (COSTA, 2008).

Os compósitos podem ser classificados em compósitos carregados com partículas, também chamados de compósitos particulados. Compósitos carregados com fibras descontínuas, sendo que essas fibras podem ser unidirecionais ou dispostas aleatoriamente e compósito carregados com fibras contínuas que também podem ser fibras contínuas unidirecionais, bidirecionais ou multidirecionais. Possuem duas subclassificações que são os compósitos com partículas grandes e os compósitos reforçados com pequenas partículas por dispersão cuja diferença entre eles está baseada no mecanismo de reforço ou de aumento de resistência (DE PAULA, 2011).

Figura 1: Representação de diferentes tipos de reforço com fibras.



Fonte: DE PAULA (2011).

Autores como Rodrigues, Silva e Daltro (2014) já afirmaram por meio de estudos que estes materiais podem ser definidos como sistemas constituídos pela combinação de dois ou mais componentes cujo desempenho mecânico e propriedades superam as analisadas em suas respectivas formas puras. O incremento dessas propriedades se dá pela transferência de tensão entre a matriz e o reforço, que em nosso caso se trata da fibra de bananeira, reforçando assim a

capacidade funcional de substituição do uso de petroquímicos no desenvolvimento desses materiais (TOMCZAK, 2010).

Esses compósitos podem possuir a matriz constituídas por polímeros termorrígidos, termoplásticos e elastoméricos. Para utilização em compósitos, algumas características como o caráter apolar dos polímeros, definem algumas propriedades, principalmente aspectos relacionados à baixa dispersão com cargas inorgânicas de natureza polar, onde é necessária sua modificação ou o tratamento de um dos componentes para obtenção de melhores propriedades (DE PAULA, 2011).

Para que tais características sejam verificadas, é necessário realizar uma série de ensaios mecânicos, sendo pautados o ensaio de tração, flexão e dureza (shore) em compósitos de matriz polimérica e reforçados com fibra de bananeira. Vale também ressaltar que todo o ensaio previamente mencionado é de natureza destrutiva pois após sua realização, inviabilizam o uso posterior do corpo de prova (CALLISTER, 2012).

O ensaio de tração é baseado na aplicação de uma força uniaxial que cresce até a ruptura do corpo de prova. Esse ensaio permite que as deformações sejam uniformemente distribuídas em todo o corpo de prova podendo ter sua intensidade modificada de acordo com o objetivo desejado (DALCIN, 2007).

O outro ensaio mencionado de grande importância para este trabalho é o ensaio de flexão, que corresponde por sua vez à capacidade de resposta do material sobre forças de dobragem longitudinais, aplicadas crescentemente em determinados pontos de uma barra previamente padronizada. Mede-se o valor de carga em relação à deformação máxima sofrida pelo material. O ensaio de flexão ocorre em uma máquina universal, podendo ser executada de três formas possíveis: ensaio de três pontas, ensaio de quatro pontas e o método de engaste (GARCIA, 2000). Levando em conta a fragilidade dos materiais poliméricos, o ensaio de melhor escolha para sua testagem é o ensaio de flexão de três pontas. Um fator a ser levado em conta que pode vir a interferir na resposta ao ensaio de flexão de compósitos é o tratamento deste. Em compósitos de matriz epóxi reforçados com fibra de bananeira, aqueles que receberam tratamento alcalino obtiveram melhores resultados quanto ao limite de flexão, porém não obtendo bons resultados no ensaio de tração. Essa resposta evidencia que aparentemente não é possível obter compósitos que possuam uma alta resistência e máxima tenacidade ao mesmo tempo (BISANDA, 2000). Outro fator a ser levado em conta é a direção que as fibras e as concentrações de fibras presentes no compósito, pois o resultado do ensaio é diretamente proporcional ao tamanho da fibra. Os compósitos reforçados com fibras unidirecionais

alinhadas também obtiveram melhores resultados quanto ao módulo de resistência à flexão (DE ROSA; SANTULLI; SARASANI, 2009).

O ensaio de dureza Shore mede a resistência à penetração, ou ao risco e avalia a resistência relativa à endentação, a qual varia com o tempo, principalmente porque os materiais usados neste tipo de ensaio têm uma grande resiliência e consequentemente uma grande capacidade para absorver a energia e de se adaptar à deformação (LEE et al., 2017). A dureza para polímeros pode ser medida em escalas Shore A, e Shore D, caracterizados para polímeros menos duros e mais duros respectivamente. A Dureza Shore A é utilizada em ensaios com materiais mais flexíveis, com o uso de indentador específico e carga de 1Kg, já a dureza Shore D é utilizada para materiais mais rígidos com indentador específico e carga de 5Kg. Para valores superiores a 90 utiliza-se o equipamento Shore D e para valores inferiores a 20 utiliza-se o equipamento Shore A (JOAQUIM, 1995).

Outra ferramenta de suma importância na caracterização desses materiais é a utilização da microscopia, focando na microscopia eletrônica de varredura e na microscopia ótica. O princípio fundamental em que a microscopia de varredura se baseia, consiste na utilização de um feixe de elétrons que incide sobre uma amostra do material a ser analisado, com o propósito de obter imagens de alta qualidade em escala manométrica, sendo muito utilizada no estudo de fraturas de compósitos que possuem fibras longas ou curtas. O comportamento dessas análises possui diversas variáveis, incluindo a natureza, carga do meio, quantidade de vazios (“voids”) e interação da fibra com a matriz. As fraturas identificadas pela análise podem revelar áreas nas quais ocorreram falhas em compósitos tais como trincas e falhas de ligação e adesão fibra/matriz (SAWYER, 1994).

A microscopia ótica é realizada com a finalidade de se observar as características morfológicas de uma amostra. Seu princípio consiste na incidência da luz visível, ou ultravioleta, que incide em um condensador, atravessa o objeto e é encaminhada para o canhão de lentes convergentes, chamadas de objetivas e oculares. Após o feixe luminoso atingir a lente objetiva, forma-se uma imagem intermediária e aumentada do objeto, funcionando como uma lupa (ROSS; PAWLINA, 2012).

2. OBJETIVO

O presente trabalho buscou desenvolver e caracterizar compósitos de resina epóxi reforçados com fibras de bananeira para a confecção de um aeromodelo, verificar as propriedades mecânicas do compósito estudado de acordo com a porcentagem de fibra na

matriz epóxi e com os tipos de distribuição da fibra de bananeira no compósito, para que, em função disso, identificar melhores resultados de dureza e resistência à tração e à flexão.

3. JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento de materiais ecologicamente responsáveis e a melhor adequação de suas aplicações, bem como de seus processos produtivos, são ferramentas fundamentais na busca de alternativas para minimizar os impactos ambientais causados pela indústria. O uso de matérias-primas de fontes renováveis vem sendo objeto de diversos estudos e pesquisas, devido ao seu potencial na substituição de derivados petroquímicos (ALKBIR et al., 2016; ASIM et al., 2015).

Por serem de origem vegetal, e por isso de fonte renovável, as fibras naturais apresentam baixo custo, são biodegradáveis, recicláveis, não tóxicas e podem ser incineradas (MIOTTO; DIAS, 2015; ZANG et al., 2015; ALKBIR et al., 2016). Além disto, geram um balanço energético atmosférico positivo, já que, durante o crescimento do vegetal, o gás carbônico do ambiente é retirado para produzir moléculas orgânicas que são utilizadas para sua formação e crescimento. O grande potencial brasileiro na produção de fibras naturais possibilita que o segmento industrial olhe com atenção para as vantagens do uso destes materiais. Estima-se que as plantações de bananeiras, no Brasil, sejam responsáveis pela ocupação de uma área de cerca de 500 mil hectares, sendo a segunda fruta mais cultivada no país (SEBRAE, 2007).

O tema dos materiais é complexo devido à quantidade e diversidade de materiais disponíveis, o estudo e a análise para a concepção de um compósito requer maior atenção para a investigação de suas características, levando em consideração as propriedades adequadas para cada tipo de aplicação (ALVES et al., 2011). Neste contexto, a fibra de carbono e fibra de vidro apresentam propriedades de resistência muito acima das exigidas para fabricação de aerodelos. Levando em consideração que durante o voo e principalmente em manobras acrobáticas, é comum ocorrerem acidentes com a queda dos aerodelos, nem sempre possíveis de serem resgatados. É neste cenário que a fibra de carbono e de vidro, embora sejam mais resistentes, apresentam um alto impacto ambiental devido ao seu longo tempo de degradação (KERSTING; MARICCI; WIEBECK, 2012; ESPER, 2016)

Dessa forma, a exploração de novas fibras para reforço de compósitos vem também como uma opção para desenvolvimento de materiais alternativos mais adequados para usos específicos. Avaliando o ciclo de vida do produto, que envolve todos os processos durante sua

produção, incluindo a extração das matérias-primas e passando por todas as fases intermediárias de processamento como manufatura, transporte, o uso e o descarte de resíduos (ASIM et al., 2015; FEI et al., 2016; MESDAGHINIA et al., 2015), as peças feitas com fibra de carbono e de vidro não se mostram como as mais adequadas para aplicação em aeromodelos, já que seu descarte é difícil de ser rastreado, além do alto custo/benefício que as fibras sintéticas apresentam para este emprego, especificamente. Sendo assim, a fibra de bananeira mostra-se potencialmente promissora para a fabricação das peças de aeromodelos, reforçando a importância do aprofundamento e da investigação das características técnicas do seu compósito como um caminho possível para a evolução e ampliação de seu uso.

4. METODOLOGIA

A matriz polimerica utilizada foi a resina Epóxi 2004–BB transparente de baixa viscosidade com endurecedor Aradur 3154 na proporção 2:1, como recomenda o fabricante. A resina Epóxi 2004 – BB, segundo a ficha técnica do fabricante, é uma resina líquida, modificada de baixa viscosidade, formulada à base de bisfenol – A que se solidifica ao reagir com o endurecedor constituído por amina alifática. O endurecedor utilizado foi o Aradur 3154. Ambos adquiridos da empresa Redecenter S.A. localizada no município de Volta Redonda - RJ, representante regional do fabricante Redelease.

As fibras de bananeiras, extraídas do pseudocaule da bananeira da espécie *Musa acuminata*, foram obtidas através da doação de uma fazenda de São Bento de Sapucaí SP.

Já para a preparação dos moldes, fora utilizado borracha desilicone branca P5 de baixa viscosidade e catalizador ambos também do fabricante Redelease, adquiridos da empresa Redecenter S.A localizada no município de Volta Redonda-RJ. O desmoldante utilizado foi à vaselina sólida em pasta, por não interagir com a resina, ser de fácil aplicação e baixo custo. A vaselina utilizada foi da marca Moriá.

Para o processo de confecção dos corpos de prova, foram utilizados borracha de silicone líquida com catalisador, vaselina solida como desmoldante, placa de vidro e massa de modelar da marca Acrilex. Os moldes seguiram as dimensões definidas pela norma da ASTM D3039/D3039M-17 para os ensaios de tração e ASTM D790-10 para os ensaios de flexão. Fora utilizada uma placa de vidro untada com vaselina solida industrial para facilitar a desmoldagem. A massa de modelagem foi utiliza para delimitar o tamanho do molde.

A borracha de silicone previamente homogeneizada, foi misturada com catalisador em uma proporção de 5% (m/m) conforme recomendado pelo fabricante, em seguida despejou-se a mistura sobre a placa de vidro com o delimitante. A reação química passou pelo “tempo de gel” e após 12 horas a borracha irá atingir o “tempo de cura”. O molde ficou 24 horas em local arejado esperando a secagem e após esse tempo a acrílica se despreendeu naturalmente da borracha de silicone.

Para a confecção do corpo de prova com resina epóxi sem reforço preparou-se a mistura de resina epóxi e endurecedor Aradur 3154 na proporção de 50 ml de endurecedor para 100 ml de resina como indica o fabricante. Com o auxílio de uma pipeta, foi misturada a resina com o endurecedor e logo inserida nos moldes de trabalho. Os corpos de prova de resina pura foram submetidos a um tempo de cura de 24 horas.

O preparo do compósito com manta de fibras de bananeira e resina epóxi seguiu o critério de 10%, 20%, 30% e 40% em unidade de massa de reforço (manta) e 90%, 80%, 70% e 60% em unidade de massa de matriz (epóxi), respectivamente.

Para a caracterização mecânica do material desenvolvido, foram feitos três tipos de ensaios mecânicos, que são os ensaios de tração, flexão e dureza shore d com diversas proporções. Foram preparados 5 corpos de prova para cada proporção de concentração de fibras de bananeiras com resina epóxi, totalizando 130 corpos de prova no total deste trabalho.

- ✓ Corpos de provas (CPs) constituídos pelo compósito de manta de fibras aleatórias de bananeira nas proporções de 10%, 20%, 30% e 40%;
- ✓ Corpos de provas constituídos pelo compósito de fibras de bananeira trituradas nas proporções de 10%, 20%, 30% e 40%;
- ✓ Corpos de provas constituídos pelo compósito de fibras longas unilaterais e no sentido longitudinal aos CPs, nas proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%.

O ensaio de dureza foi realizado com base na norma NBR 7456, onde é definido o método ideal para utilização e determinação de dureza por penetração nos materiais. Foi utilizado o durômetro digital portátil tipo Shore D-TH 210 do Laboratório de Materiais da Universidade de Volta Redonda UniFOA.

Os ensaios de tração foram realizados no Laboratório de Processamento de Materiais do Centro Universitário (UniFOA) de Três Poços, em uma máquina universal de ensaios, da marca EMIC DL-10000, com célula de carga de 5 kN, seguindo as recomendações da ASTM D-3039/D30309M-17, em temperatura ambiente de 25°C. A força de tração foi aplicada com velocidade de 2 mm/min.

Já o ensaio de flexão, foram realizados no Laboratório de Processamento de Materiais do Centro Universitário (UniFOA) de Três Poços, em uma máquina universal de ensaios, da marca EMIC DL-10000, com célula de carga de 5 kN, seguindo as recomendações da ASTM D790-10, em temperatura ambiente de 25°C. Durante o ensaio a força foi aplicada com velocidade de 2 mm/min.

Para a caracterização microestrutural foram usados a microscopia ótica e a microscopia eletrônica de varredura. Para a microscopia ótica foram utilizadas seções longitudinais e transversais das amostras fraturadas provenientes do ensaio de tração, sendo retiradas fatias retangulares de dimensões 0.7 v 1.8 cm. Em seguida as fatias, com as amostras dos compósitos, foram embutidas a frio com resina acrílica em moldes metálicos para facilitar o manuseio e possibilitar o tratamento superficial. Após 5 horas, com a resina já sólida, as pastilhas de acrílico com as amostras foram desenformadas e identificadas. Essas receberam tratamento superficial através da Politriz AROTEC do Laboratório de Processamento de Materiais do Centro Universitário (UniFOA), e uma bateria de lixas apropriadas de carbeto de silício com variadas granulometrias, a saber: 220, 360, 400, 600, 800, 1200 e 1500.

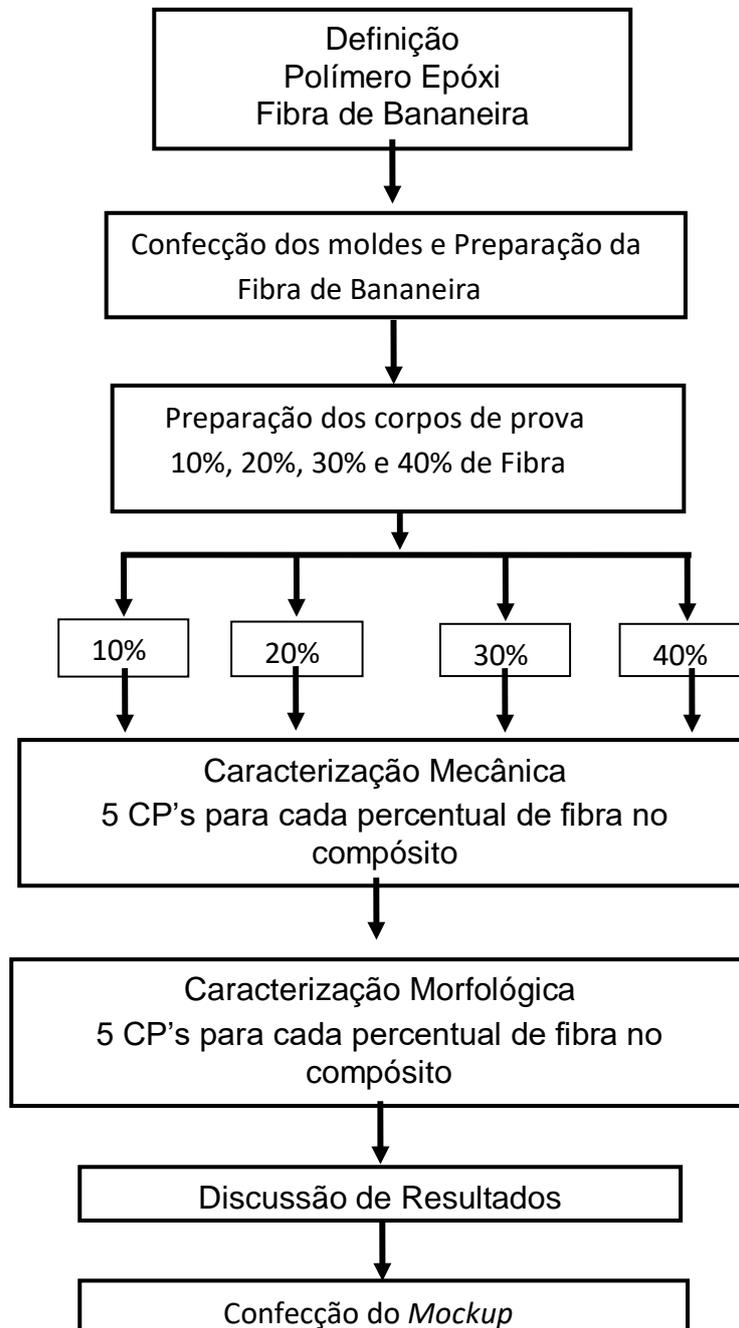
Posteriormente as pastilhas com as amostras foram destinadas ao polimento com feltro e pastas de diamante de 1 µm e alumina de 0,3 µm, e em seguida foram lavadas com álcool 92°C, secas com secador normal e destinadas às análises de microscopia ótica. A microscopia foi realizada com o microscópio metalográfico Invertido OPTON TNM-07T-PL e software Scope Photo 3.0 do Laboratório de Processamento de Materiais do Centro Universitário (UniFOA) de Três Poços, onde foi utilizada lente ocular de 10X e as lentes objetivas para ampliação de 100X, 200X e 400X

Para a microscopia eletrônica de varredura, foi utilizado o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV - ZEISS EVO-10) do laboratório de metalurgia da UFF - Volta Redonda – RJ, com um espectroscópio de raios X dispersivo em energia (EDS). Foi utilizado sinal de elétrons secundários (SE1), com tensão de feixe de elétrons (ETH) de 20 kV, com distância de trabalho (WD) de 11,5 mm e magnitude variando de 150 à 450 vezes.

Para a análise microestrutural no MEV, as amostras foram retiradas da região de rompimento dos corpos de prova após os ensaios de tração e delas foram preparadas fatias retangulares. Para a realização da microscopia eletrônica de varredura se faz necessário a deposição de uma camada de Au-Pd na superfície da amostra para possibilitar a condução elétrica superficial que propicia a geração de imagem pela varredura eletrônica. Portanto as amostras da região da fratura foram submetidas a uma pulverização de Au-Pd, pelo tempo aproximado de 2 min, sendo utilizada a máquina EMITECH de Pulverização de Partículas de

Ouro da Universidade Federal Fluminense (UFF) de Volta Redonda-RJ. A Figura 2 representa o fluxograma das etapas deste trabalho.

Figura 2: Fluxograma das etapas do trabalho.



Fonte: AUTOR (2020).

5. RESULTADOS

Aspectos fundamentais foram meticulosamente inspecionados para que se tenha o máximo de qualidade possível durante a captação dos resultados nos testes efetuados considerando só seguintes fatores controle da quantidade, comprimento crítico e orientação da fibra utilizada no reforço, característica da resina e endurecedor da matriz, procedimento adequado para a preparação das amostras, temperatura e umidade ambiente.

5.1 Ensaios mecânicos dos compósitos com manta de fibras aleatórias e resina epóxi.

A tabela 1 representa o resultado de dos ensaios de dureza (Shore D) dos CPs com 0%, 10%, 20%, 30% e 40% de fibra em forma de manta e resina epóxi.

Tabela 1: Ensaios de dureza (Shore D) dos CPs de manta de fibras aleatórias de bananeira com resina epóxi.

Teor de fibra no compósito	CP-1	CP-2	CP-3	CP-4	CP-5	Valor Médio	Desvio Padrão
0%	53,58	51,57	54,63	50,72	50,63	52,68	0,67
10%	67,53	63,27	65,78	64,44	65,28	65,87	0,87
20%	71,65	72,38	72,62	71,53	71,88	72,01	0,91
30%	68,82	67,42	68,56	69,42	70,15	69,53	1,06
40%	64,82	65,12	63,98	67,42	60,15	63,52	1,39

Fonte: AUTOR (2020).

Como mostra a tabela 2, é possível observar o valor do limite de resistência à tração em (MPa) dos corpos de prova com diferentes percentagens de fibras aleatórias de bananeira e resina epóxi durante os ensaios mecânicos.

Tabela 2: Ensaios de tração com manta de fibra aleatória e resina epóxi.

Teor de fibra no compósito	CP-1	CP-2	CP-3	CP-4	CP-5	Valor Médio	Desvio Padrão
0%	15,31	15,63	13,84	14,62	15,18	15,38	0,50
10%	23,45	24,76	24,54	24,85	25,24	24,57	0,60
20%	31,25	32,26	31,42	30,05	32,02	31,40	0,77
30%	33,08	36,02	35,45	32,01	29,28	33,35	0,89
40%	33,98	30,85	32,68	32,92	34,97	33,08	1,38

Fonte: AUTOR (2020).

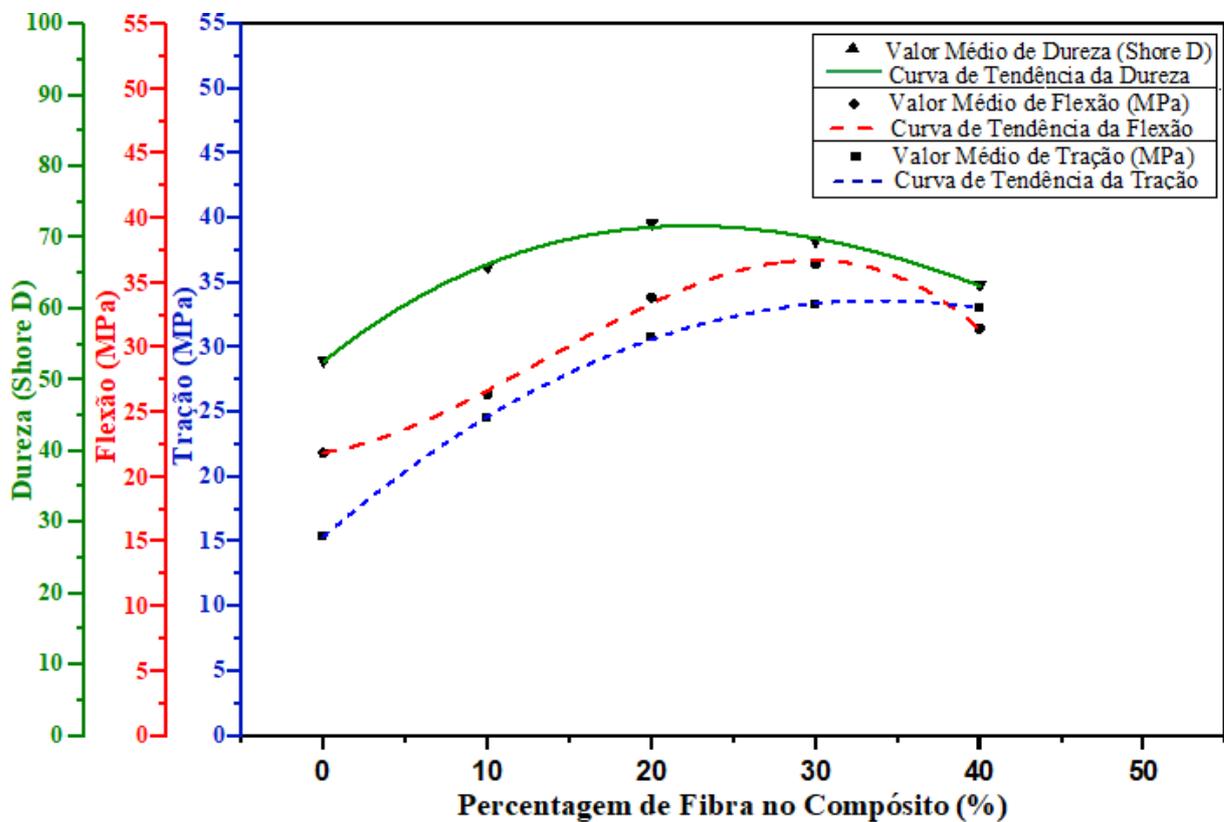
A tabela 3 apresenta tensão máxima de flexão em (MPa) aplicada, até a ruptura dos corpos de prova com manta de fibras de bananeira aleatórias e resina epóxi durante os ensaios de flexão

Tabela 3: Ensaio de flexão dos CPs de fibras aleatórias com resina epóxi.

Teor de fibra no compósito	CP-1	CP-2	CP-3	CP-4	CP-5	Valor Médio	Desvio Padrão
0%	23,02	22,36	22,05	23,52	22,03	22,04	0,55
10%	25,82	27,32	26,38	27,42	25,85	26,38	0,69
20%	33,41	34,85	33,98	32,02	32,86	33,41	0,97
30%	37,81	28,53	33,21	31,47	34,58	36,87	1,14
40%	32,52	33,06	31,62	29,02	30,85	31,62	1,42

Fonte: AUTOR (2020).

Figura 3: Gráfico com a sobreposição das curvas de dureza, tração e flexão dos compósitos com manta de fibras aleatórias e resina epóxi.



Analisando a Figura 2, com as curvas de tendência de todos os ensaios sobrepostas, percebe-se o resultado superior dos corpos de prova com 30% de fibra aleatória nos testes de tração e flexão. Mesmo não apresentando o melhor resultado no teste de dureza, o valor obtido ainda é satisfatório, desempenhando o segundo melhor valor de todos os corpos de prova testados com fibras aleatórias. Do ponto de vista de aplicação, por se tratar da cobertura do mockup de um aeromodelo, busca-se materiais com bom desempenho de tração e flexão, com a dureza não sendo o grande diferencial para o seu desempenho. Desta forma, o compósito com 30% de reforço torna-se a escolha mais acertada, encaixando-se satisfatoriamente nas especificações desejadas para servir de cobertura para a carenagem do aeromodelo.

5.2 Ensaio mecânico dos compósitos de fibras trituradas e epóxi

É possível identificar na tabela 4, o resultado dos ensaios de dureza (Shore D) de CPs com 0%, 10%, 20%, 30% e 40% de fibra triturada e resina epóxi (m/m).

Tabela 4: Ensaio de dureza (Shore D) dos CPs de fibra de bananeira triturada com resina epóxi.

Teor de fibra no compósito	CP-1	CP-2	CP-3	CP-4	CP-5	Valor Médio	Desvio Padrão
0%	53,58	54,57	54,63	55,72	57,63	57,78	0,67
10%	68,23	68,97	69,48	69,14	67,98	67,36	0,57
20%	75,65	76,38	76,62	75,53	75,88	76,01	0,42
30%	80,82	79,42	80,56	81,42	82,15	80,27	0,91
40%	79,65	80,12	78,98	81,78	78,35	79,58	1,17

Fonte: AUTOR (2020).

A tabela 5 apresenta o valor do limite de resistência à tração em (MPa) dos corpos de prova com diferentes percentagens de fibras bananeira trituradas e resina epóxi durante os ensaios mecânicos.

Tabela 5: Ensaio de tração com fibras trituradas e resina epóxi.

Teor de fibra no compósito	CP-1	CP-2	CP-3	CP-4	CP-5	Valor Médio	Desvio Padrão
0%	15,28	14,54	13,74	14,27	15,03	14,99	0,77
10%	28,74	26,31	29,13	28,46	27,31	29,73	1,03
20%	38,51	41,23	39,06	37,49	40,19	39,3	1,34
30%	47,01	41,52	46,81	45,06	44,85	43,98	2,31
40%	33,07	42,66	37,71	36,97	31,38	39,58	3,15

Fonte: AUTOR (2020).

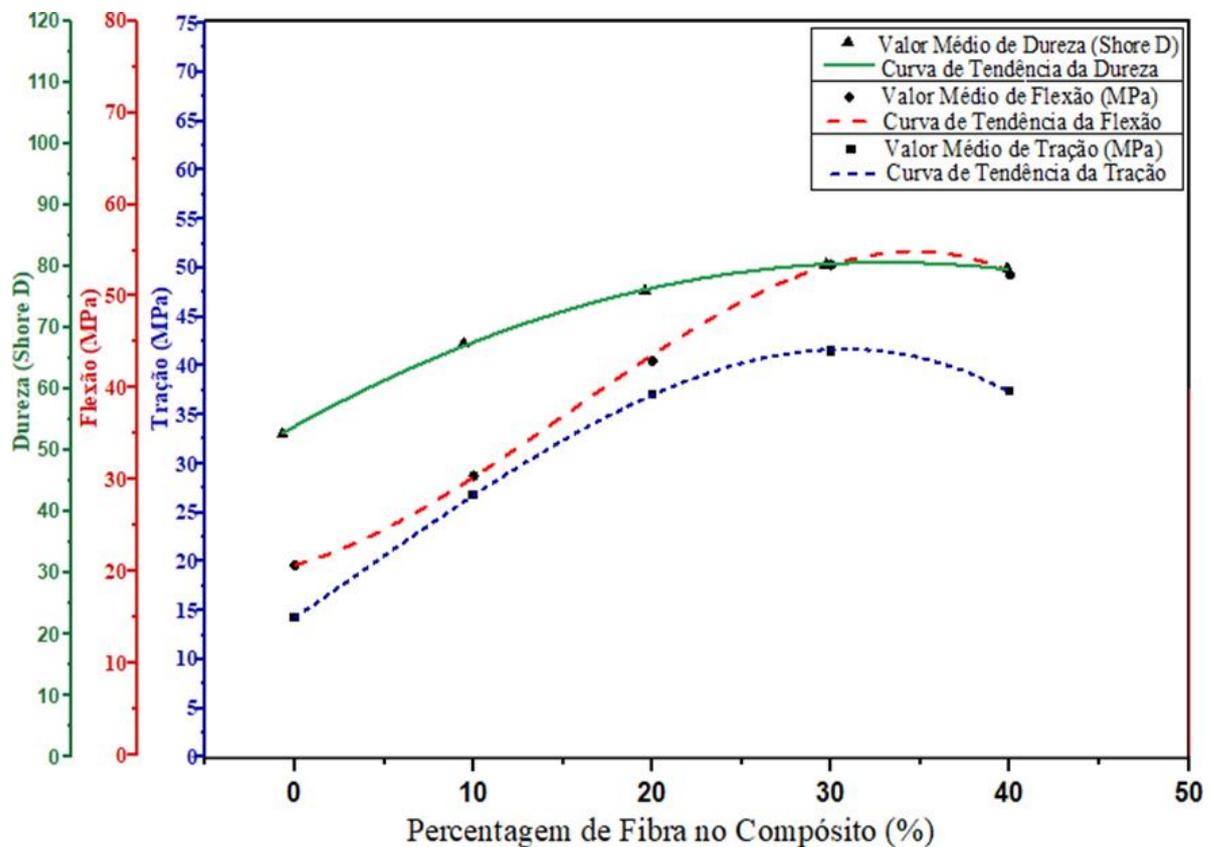
A Tabela 6 apresenta a tensão máxima de flexão em (MPa) aplicada, até a ruptura dos corpos de prova com fibras de bananeira trituradas e resina epóxi durante os ensaios de flexão.

Tabela 6: Ensaio de flexão dos CPs de fibras trituradas com resina epóxi.

Teor de fibra no compósito	CP-1	CP-2	CP-3	CP-4	CP-5	Valor Médio	Desvio Padrão
0%	20,18	20,36	21,47	19,87	22,12	21,89	0,97
10%	29,16	28,59	32,06	31,51	30,51	30,37	1,13
20%	38,12	41,38	44,97	46,45	43,77	42,94	1,93
30%	67,02	62,63	49,53	53,18	60,27	54,38	2,41
40%	44,95	46,56	54,42	57,45	58,16	52,31	3,98

Fonte: AUTOR (2020).

Figura 4: Gráfico com a sobreposição das curvas de dureza, tração e flexão dos compósitos com fibras trituradas e resina epóxi.



Analisando a Figura 3, que mostra as curvas de tendência de todos os ensaios sobrepostas, percebe-se que o compósito com 30% de fibra triturada foi, dentre os tipos de compósitos desenvolvidos nesse trabalho, o que obteve melhores resultados nos ensaios de dureza, com bom desempenho nos ensaios de tração e flexão. Do ponto de vista de aplicação, buscam-se materiais com dureza elevada para compor as longarinas e nervuras do aeromodelo que possam suportar os esforços transversais, o cisalhamento e a torção no corpo e nas asas, pelas forças aerodinâmicas. Desta forma, o compósito com 30% de fibras trituradas como reforço, que adquiriu um elevado valor de dureza, torna-se a escolha mais acertada para a fabricação das nervuras e longarinas do mockup.

5.3 Ensaios mecânicos dos compósitos com fibras longas e resina epóxi

Podemos observar na tabela 7 os resultados dos ensaios de dureza (Shore D) de CPs com fibras longas alinhadas em resina epóxi, na proporção de 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de fibra (m/m).

Tabela 7: Ensaios de dureza (Shore D) dos CPs com fibras longas unilaterais e resina epóxi

Teor de fibra no compósito	CP-1	CP-2	CP-3	CP-4	CP-5	Valor Médio	Desvio Padrão
0%	57,48	57,67	57,73	58,82	56,73	57,69	0,51
10%	64,23	64,97	65,48	65,14	63,98	65,14	0,57
20%	72,15	71,88	73,12	72,03	72,38	72,51	0,62
30%	73,97	72,85	72,83	74,78	72,32	73,97	0,91
40%	74,82	73,42	74,56	75,42	76,15	74,27	1,12
50%	71,88	72,15	72,03	73,97	72,78	72,38	1,57

Fonte: AUTOR (2020).

A tabela 8 apresenta o valor do limite de resistência à tração em MPa dos corpos de prova com diferentes percentagens de fibras longas alinhadas e resina epóxi, durante os ensaios mecânicos.

Tabela 9: Ensaios de tração dos CPs com fibras longas e resina epóxi.

Teor de fibra no compósito	CP-1	CP-2	CP-3	CP-4	CP-5	Média (MPa)	Desvio Padrão
0%	15,36	15,62	13,85	14,51	15,29	15,34	0,56
10%	21,56	21,95	22,83	22,19	20,75	21,86	0,69
20%	36,02	37,86	35,23	36,87	37,01	36,60	0,90
30%	48,34	45,57	47,53	48,53	46,42	47,28	1,13
40%	52,53	57,25	60,52	53,15	65,37	54,73	2,14
50%	54,91	49,58	53,26	52,03	51,49	52,25	3,78

Fonte: AUTOR (2020).

A tabela 9 apresenta a tensão máxima de flexão em (MPa) aplicada, até a ruptura dos corpos de prova com fibras de bananeira longas e alinhadas e resina epóxi durante os ensaios de flexão.

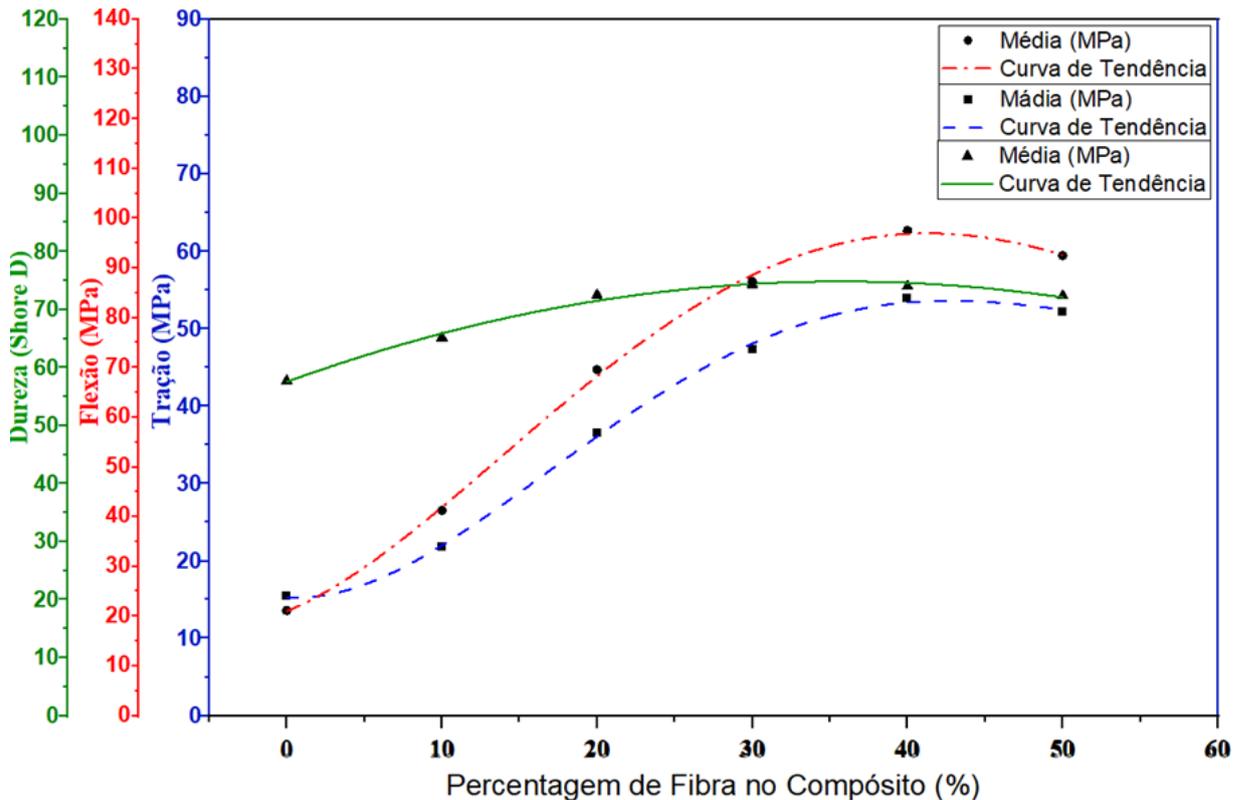
Tabela 9: Ensaios de flexão dos CPs de fibras longas unilaterais e resina epóxi.

Teor de fibra no compósito	CP-1	CP-2	CP-3	CP-4	CP-5	Média (MPa)	Desvio Padrão
0%	20,73	22,06	21,37	21,87	20,12	21,15	0,92
10%	40,23	41,98	42,12	39,97	40,78	41,25	1,32
20%	68,24	70,13	69,45	71,02	69,55	69,68	1,94
30%	89,07	85,74	90,12	87,98	86,31	87,27	2,25
40%	96,28	95,78	98,42	99,03	97,58	97,5	3,41
50%	87,94	93,81	95,86	90,61	93,45	92,48	4,22

Fonte: AUTOR (2020)

A figura 5 mostra o gráfico com a sobreposição das curvas de tendência dos ensaios de dureza, tração e flexão dos corpos de prova com compósitos de resina epóxi e fibras de bananeira longas unilaterais, de com os resultados obtidos durante os ensaios.

Figura 5: Gráfico de comparação dos resultados de dureza, tração e flexão dos compósitos com fibras longas unilaterais e resina epóxi.

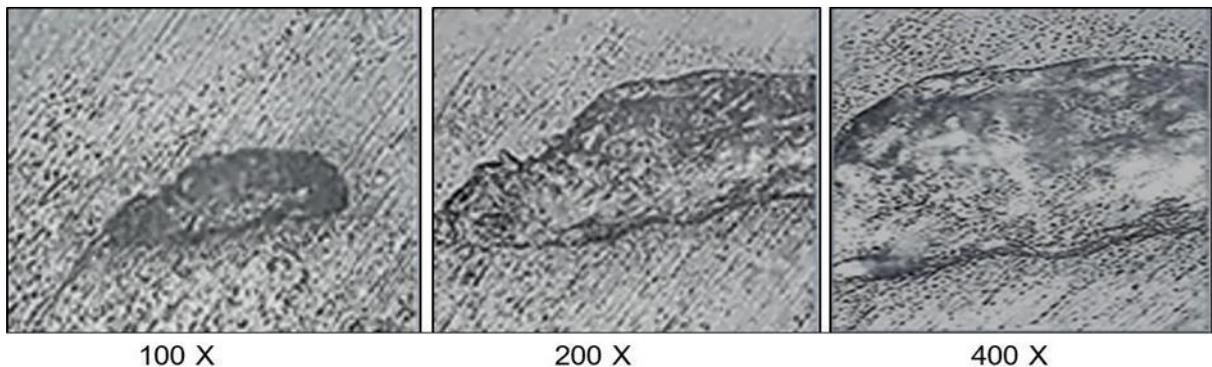


Analisando a figura 5 que apresenta as curvas de tendência sobrepostas de todos os ensaios (dureza, tração e flexão), conclui-se que o compósito com 40% de fibras longas unilaterais foi o que obteve melhores resultados de tração e flexão, dentre os outros tipos de compósitos desenvolvidos nesta dissertação, além de apresentar um desempenho razoável nos ensaios de dureza, constituindo um material ideal para confecção das estruturas mecânicas mais exigidas na confecção do mockup. São elas: a parte inferior da asa, onde fica alojado os servomotores que acionam os aleirons, e a parte inferior do corpo do aeromodelo, que suporta as vibrações e esforços axiais no momento do impacto do trem de pouso ao tocar o solo. Desta forma, o compósito com 40% de reforço de fibras longas unilaterais torna-se a escolha mais acertada para esta função.

5.4 Microscopia ótica dos compósitos com fibras aleatórias e resina epóxi

Podemos observar na figura 5 uma ampliação de 100, 200, 400 vezes a amostra de um corte de prova do compósito no sentido longitudinal. Esses possuem 30% de fibras aleatórias e matriz de resina epóxi. É possível observar nas imagens a boa aderência superficial da matriz e do reforço, pois a resina envolveu completamente a fibra. Também fora observado durante o ensaio microscópico que após rompimento no ensaio de tração, houve uma razoável distribuição da fibra no compósito, porém apresentando formas e dimensões variadas com aglomerações pontuais de fibra.

Figura 6: Corte longitudinal, fibras aleatórias. I- Ampliação de 100 vezes, II- Ampliação de 200 vezes e III- Ampliação de 400 vezes.



5.5 Microscopia ótica dos compósitos com fibras trituradas e resina epóxi

A imagem seis representa a amostra retirada de um corte transversal no corpo de prova com 30% de fibras trituradas e resina epóxi. Pode se observar a uniformidade da distribuição na amostra que indica por sua vez a homogeneidade da mistura da matriz e reforço. Além disso, também fora observada a existência de fibras maiores, com geometria alongada e fibras menores de geometria circular. É importante ressaltar que embora as fibras trituradas tenham sido peneiradas, as fibras longas com diâmetros menores passaram pela peneira da mesma forma que as partículas de fibras curtas.

Figura 7: Corte transversal, fibras trituradas; I- Ampliação de 100 vezes; II- Ampliação de 200 vezes e III- Ampliação de 400 vezes.



5.6 Microscopia ótica dos compósitos com fibras longas e resina epóxi.

A figura 8 mostra as imagens ampliadas das amostras retiradas de um corte no sentido transversal do corpo de prova de prova do compósito com 40% de fibras longas unilaterais e resina epóxi. É possível observar a perfeita interação com a resina epóxi, sem a presença de vazios devida, principalmente, ao tratamento alcalino com hidróxido de sódio que proporcionou as fibras uma perfeita impregnação da resina em suas cadeias reticulares.

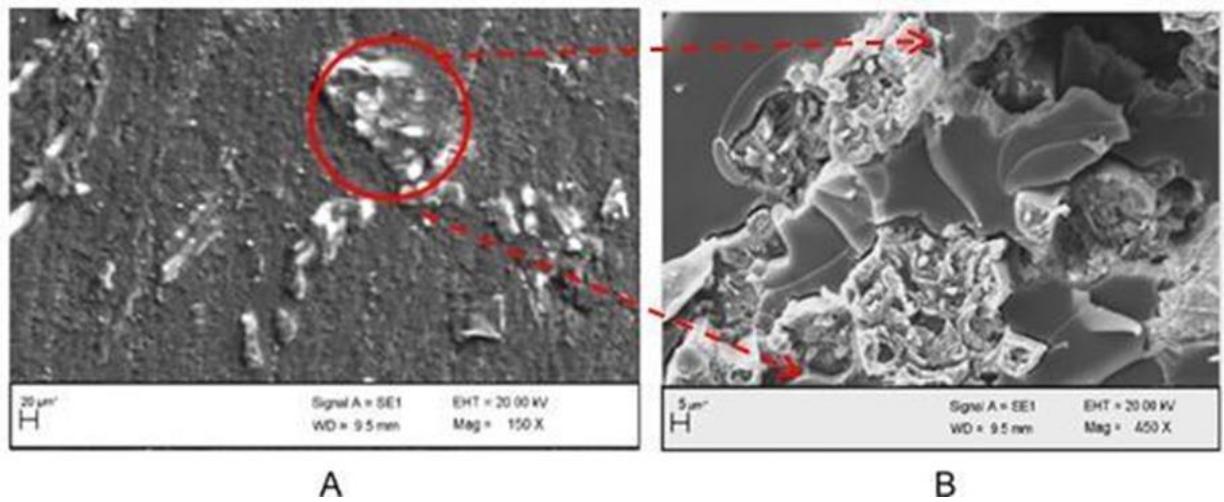
Figura 7: Corte transversal, fibras longas. I- Ampliação de 100 vezes. II- Ampliação de 200 vezes e III- Ampliação de 400 vezes



5.7 Microscopia eletrônica (MEV) compósito com fibras aleatórias e resina epóxi

A análise microestrutural da amostra, observada na figura 8 A, foi selecionada da região de rompimento de um dos corpos de prova dos ensaios de tração com 30% de fibras aleatórias. Após a ampliação de 150 vezes, pode se observar que a matriz e a resina obtiveram boa impregnação, isenta de defeitos, garantindo dessa boa uma boa uniformidade de propriedades. Pode se observar na figura 8 B a boa penetração da resina nas cadeias reticulares da fibra.

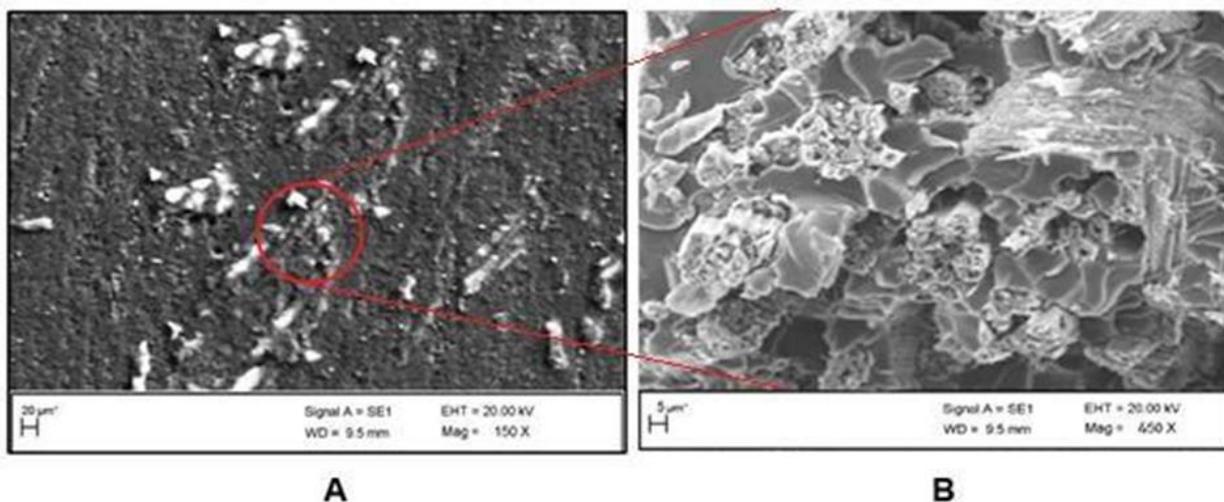
Figura 8: (A) Ampliação de 150 vezes; (B) Ampliação de 450 vezes.



5.8 MEV do compósito com fibras trituradas e resina epóxi

A análise foi feita a partir da amostra retirada da região de rompimento de um dos corpos de prova de 30% de fibra trituradas. A imagem obtida em uma ampliação de 150 vezes mostrou uma matriz de resina bem definida, isenta de defeitos, que garante uma uniformidade das propriedades, as fibras se distribuíram pela matriz em partículas com morfologia não definida apresentando comprimento médio de $50,2 \pm 6 \mu\text{m}$. Pode se observar na figura 8 B a boa penetração da resina nas cadeias reticulares da fibra.

Figura 9: (A) Ampliação de 150 vezes; (B) Ampliação de 450 vezes.

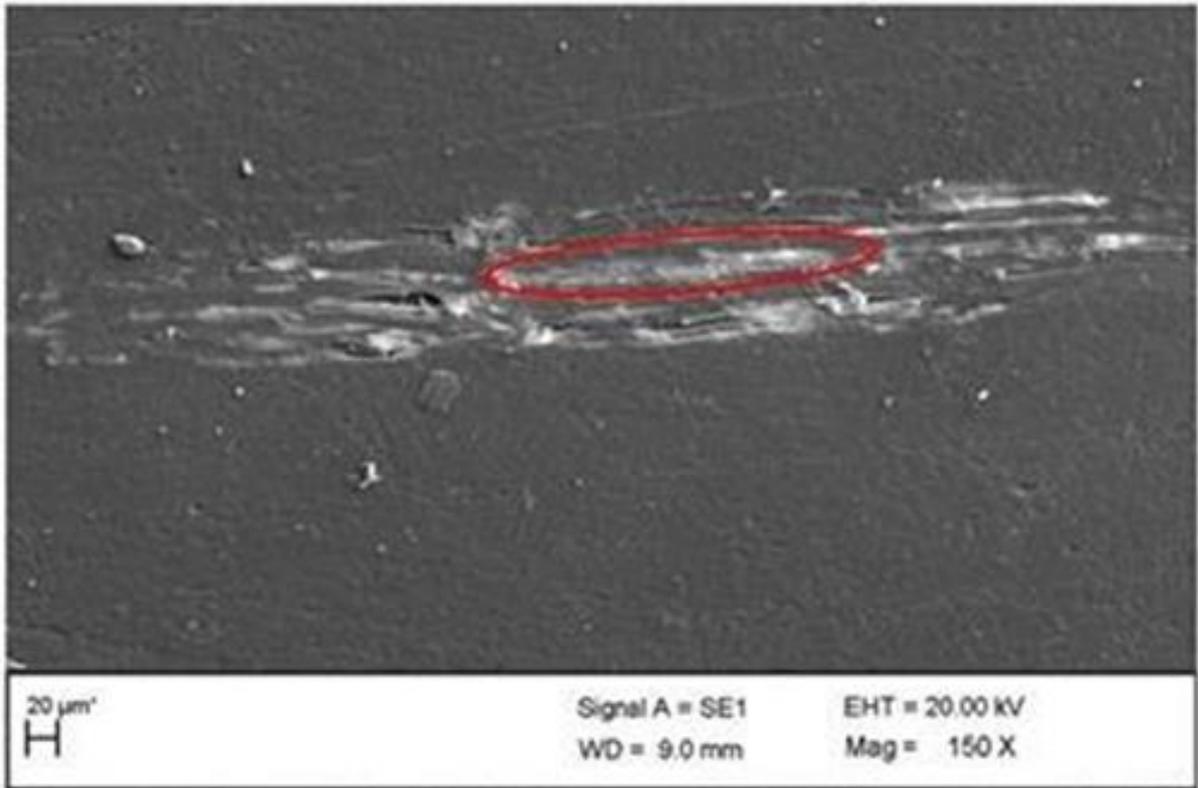


5.9 MEV do compósito com de fibras longas unilaterais e resina epóxi.

A figura 10 representa uma amostra de um corte longitudinal, próximo à região de rompimento de um dos corpos de prova do ensaio de tração com 40% de fibras naturais. A

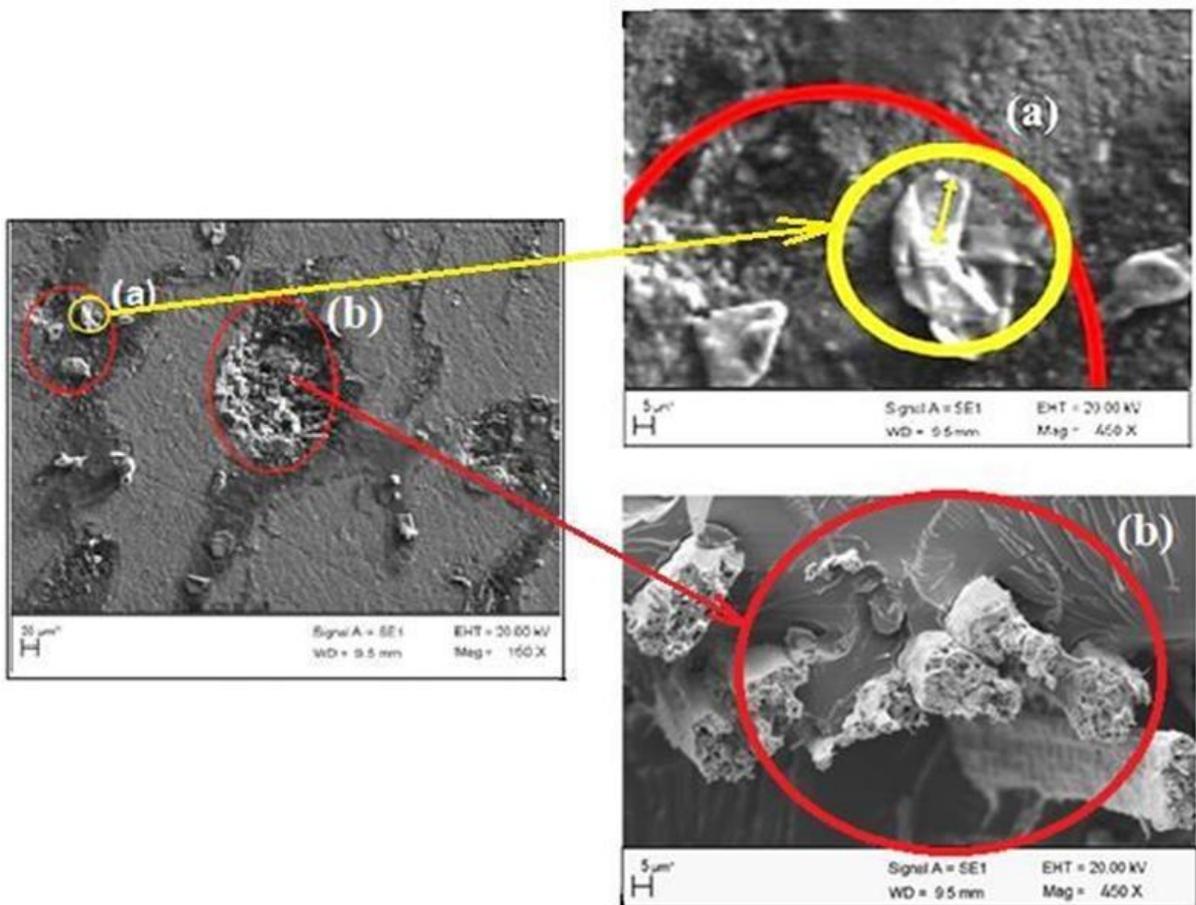
imagem foi obtida em uma ampliação de 150 vezes, essa amostra apresentou a matriz de resina bem uniforme, isenta de defeitos, que garante uma uniformidade das propriedades.

Figura 10: Corte Longitudinal Ampliação de 150 vezes.



Para a análise da figura 11, fora utilizado uma amostra da região de rompimento de um dos corpos de prova, com 40% de fibras longas, que foi submetido ao ensaio de tração. A figura mostra uma matriz de resina bem distribuída e isenta de defeitos, garantindo uma uniformidade de suas propriedades.

Figura 11: A esquerda ampliação de 150 vezes e a direita ampliação de 450



6. CONCLUSÃO

Mesmo diante da grande disponibilidade das fibras de bananeira no ambiente, por se tratar de um recurso natural renovável, elas ainda permanecem como um produto subutilizado para o desenvolvimento de novos materiais. Estudos como este, que investigam e demonstram a boa qualidade de fibras naturais em compósitos poliméricos, estimulam o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias que possam servir como alternativa às fibras artificiais, que provocam um grande impacto ambiental, como as de carbono e as de vidro.

A partir dos resultados obtidos conclui-se que a distribuição das fibras de bananeira na matriz polimérica exerce influência direta nos resultados de resistência mecânica do compósito. O melhor desempenho foi obtido com os compósitos constituídos com 40% de fibras longas e resina epóxi, apresentando um limite máximo de resistência de 54,25 (MPa) para tração e 97,50 (MPa) para flexão. Já os compósitos com fibras aleatórias e fibras trituradas apresentaram melhor desempenho mecânico com o teor de 30% de fibra em resina epóxi, sendo que para fibras aleatórias o limite máximo de tração alcançou 33,35 (MPa) e 36,87 (MPa) de flexão, e para fibras trituradas o limite máximo de tração alcançou 43,89 (MPa) e 54,38 (MPa) de flexão.

De acordo com as análises micro estruturais (MEV e Microscopia Ótica) os compósitos apresentaram uma matriz isenta de defeitos e bem distribuída. Nos compósitos com teor de 30% de fibra aleatória uma pequena aglomeração pontual de Fibra foi observada na microscopia óptica do compósito, porém não gerou interferência nos resultados mecânicos.

Em síntese, de acordo com os resultados dos testes realizados, concluiu-se que será possível o desenvolvimento de compósitos de resina epóxi reforçado com fibras de bananeira, bastante resistentes e versáteis, podendo ser utilizado tanto para finalidades que exijam esforços mecânicos (como dureza, tração e flexão), quanto para usos em coberturas que necessitem de maleabilidade, oferecendo soluções adequadas de acordo com a forma de preparo de cada compósito específico.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES; REGINA, E. Caracterização de fibras lignocelulósicas pré-tratadas por meio de técnicas espectroscópicas e microscópicas ópticas de alta resolução. 2011. 115p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011
- ALKBIR, M. F. M. et al. Fibre properties and crashworthiness parameters of natural fibre-reinforced composite structure: A literature review. *Composite Structures*, v. 148, p. 59–73, jul. 2016.
- ASIM, M. et al. A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites. *International Journal of Polymer Science*, v. 2015, p. 1–16, 2015.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D2240-14: Standard Test Method for Rubber Property - Durometer Hardness. 2014.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D3039/D3039M-17: Standard Test Method for tensile properties of polymer matrix composite materials. 2017.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D790-10: Standard Test Methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. 2010.
- BARBOSA, R. 16ª Competição SAE Brasil Aero Design. [S.l.: s.n.], 2016.
- BALLESTEROS, J. E. M. et al. Synergic effect of fiber and matrix treatments for vegetable fiber reinforced cement of improved performance. *Construction and Building Materials*, v. 205, p. 52–60, abr. 2019.
- BALZER, P.S., et al. *Polímeros: Ciência de Tecnologia*, 2007, XVII, 1.

BLEDZKI, A. K.; FRANCISZCZAK, P.; MELJON, A. High performance hybrid PP and PLA biocomposites reinforced with short man-made cellulose fibres and softwood flour. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 74, p. 132–139, jul. 2015.

BRITO DINIZ, J. F. et al. *Vegetable Fiber Drying: Theory, Advanced Modeling and Application*. p. 31–60.

CALLISTER JR, W. D., RETHWISCH, D. G. *Material science and engineering an introducton*. 8.ed. Hoboken: John Wiley & Sons Inc, 2009, 885p.

CAPITANI, D.; GARAVELLO, M. E. A Atividade Artesanal com Fibra de Bananeira sob a Perspectiva do Ecodesenvolvimento. *Resumos do II Congresso Brasileiro de Agroecologia* 1402 *Rev. Bras. Agroecologia*, v.2, n.1, fev. 2007.

COSTA, M. L.; ALMEIDA, S. F. M.; REZENDE, M. C. Resistência ao cisalhamento interlaminar de compósitos com resina epóxi com diferentes arranjos das fibras na presença de vazios. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol 11, n 4, p 182-189, 2001.

DE PAULA, P. G. *Formulação e Caracterização de Compósitos com Fibras Vegetais e Matriz Termoplástica*. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense - Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, RJ. 2011.

DEMARCHI, C. A. *Aplicabilidade de placas de fibra de bananeira: produção , caracterização e absorção sonora*. 2010. 110 f. Dissertação de Mestrado - Engenharia de Edificações e Saneamento, da Universidade Estadual de Londrina – UEL 2010

DJIDJELLI, H. *Journal of Applied Polymer Science* . 2007, 103, 3630.

EMBRAPA. *O produtor pergunta, a Embrapa responde*. 2ed. Revista amplitude. 2012. Disponível em:<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/82218/1/500>>. Acesso em: 05 de Fev 2019.

FEI, F. et al. How to integrate the informal recycling system into municipal solid waste management in developing countries: Based on a China’s case in Suzhou urban area. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 110, p. 74–86, jul. 2016.

ESPER, F. J.;KERSTING, D. F.; MARICCI, G. Estudo sobre o tratamento de resíduos de compósitos estruturais produzidos com fibra de vidro e fibra de carbono – uma revisão. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 06 a 10 de Novembro de 2016, Natal, RN, Brasil.

GODOY, F. D. *Proposta de reaproveitamento o pseudocauce da bananeira – São Caetano do Sul*, SO: CEUN-EEM, 2010.

JOAQUIM, E.F. *Ensaio medem dureza Shore e resistências à tração e flexão – parte III*. *Plástico Moderno*, 258/95, p.38-40, Set, 1995.

LACERDA, K. A. et al. Influência da relação estequiométrica resina/endurecedor em propriedades mecânicas de compósitos ternários hierárquicos resina - epóxi/tecido de fibra de carbono/nanotubos de carbono. *Polímeros Ciência e Tecnologia*, v. 24, n. 2, p. 222–227, 2014.

LOZANO, R. Analysing the use of tools, initiatives, and approaches to promote sustainability in corporations. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, v. 27, n. 2, p. 982–998, 2 mar. 2020.

MESDAGHINIA, A. et al. A bibliometric analysis on the solid waste-related research from 1982 to 2013 in Iran. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, v. 4, n. 3, p. 185–195, 8 set. 2015.

MIOTTO, J. L.; DIAS, A. A. Structural efficiency of full-scale timber–concrete composite beams strengthened with fiberglass reinforced polymer. *Composite Structures*, v. 128, p. 145–154, set. 2015.

NERY, T. B. R.; JOSÉ, N. M. Estudo das Fibras de Bananeira Pré-tratadas e in natura como Possível Matéria-prima para Reforço em Compósitos Poliméricos. *Rev. Virtual Quim.*, 2018, 10 (2), no prelo. Data de publicação na Web: 2 de abril de 2018.

ORTEGA, Z. et al. Production of Banana Fiber Yarns for Technical Textile Reinforced Composites. *Materials*, v. 9, n. 5, p. 370, 13 maio 2016.

ROSA, A.F.; ARAÚJO; S.P.; CARVALHO, M.F.D.A. A fibra de bananeira e o design de ambientes sustentável. 2012

ROSS H; PAWLINA M.– Correlação da Microscopia Ótica com Biologia Celular e Molecular. 2012. *Histologia – Texto e Atlas* 6 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan,

SILVA, L. J. Estudo experimental e numérico das propriedades mecânicas de compósitos laminados com fibras vegetais. 2011, 141 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei – MG.

SEBRAE. Estudo de mercado: Banana, Série Mercado, 2007.

TOMCZAK, F. Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras no Brasil. 2010. 82 f. Tese (Doutorado em Ciências dos Materiais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. 2010.

ZANG, D. et al. Superhydrophobic coating on fiberglass cloth for selective removal of oil from water. *Chemical Engineering Journal*, v. 262, p. 210–216, fev. 2015.